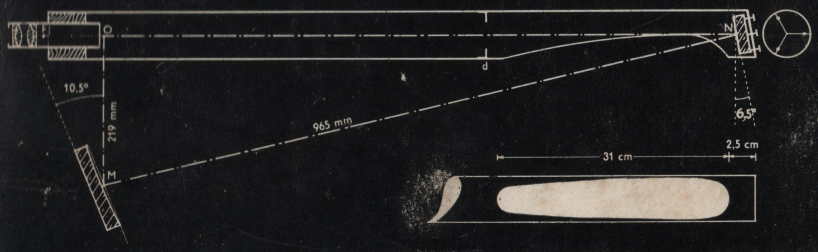
THIEME'S STERRENBOEK

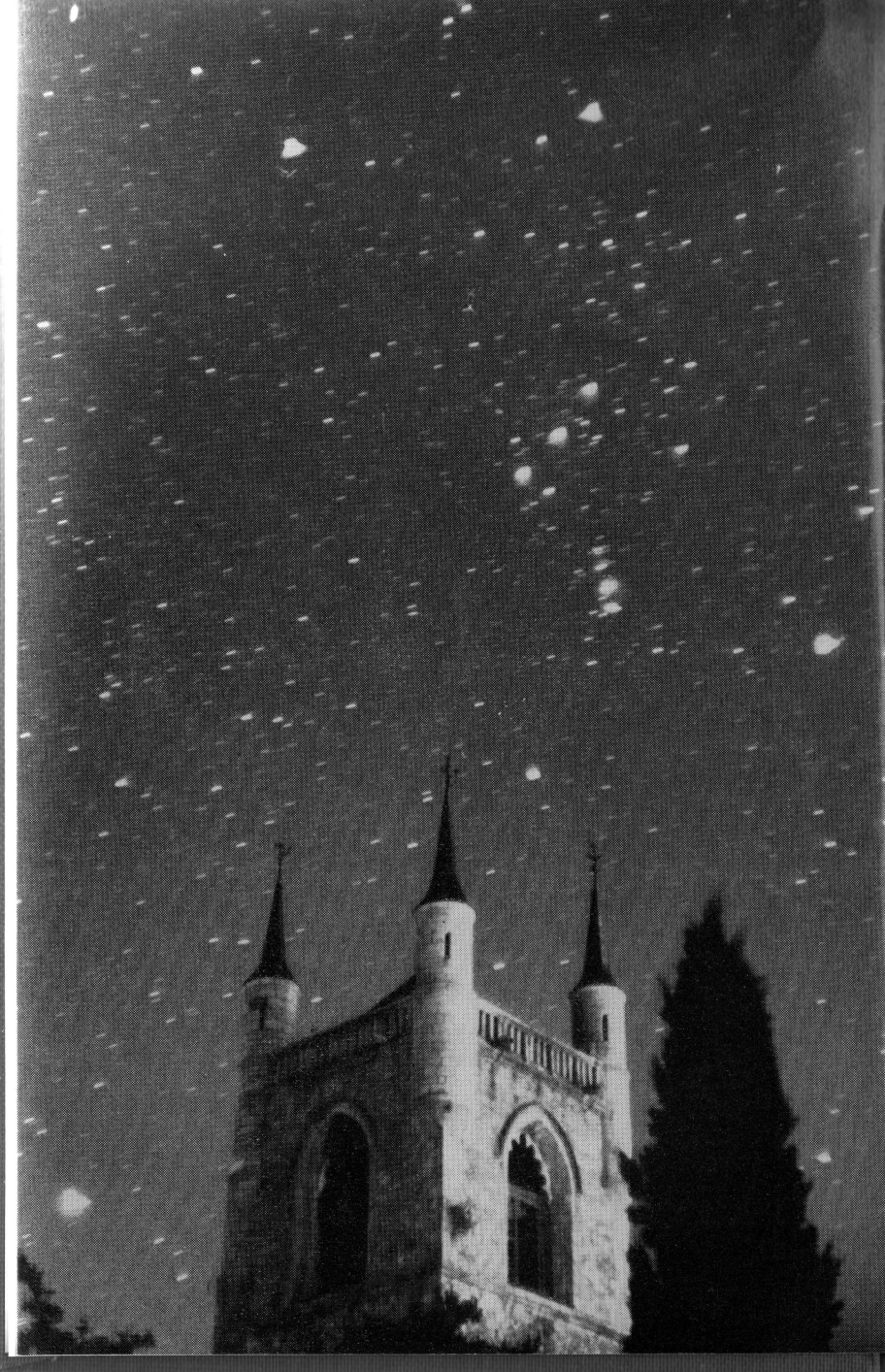
Handboek voor de amateur-astronoom

BRUNO ERNST



THIEME'S STERRENBOEK

THIEME'S
STERRENBOEK



THIEME'S STERRENBOEK

een handboek voor amateurastronomen

door

BRUNO ERNST
directeur van de volkssterrenwacht 'Simon Stevin'

met medewerking van

DS. J. DE BRUIJN, DR. J. VAN DIGGELEN,
L. J. LANTWAARD, A. MAK, *e.a.*

N.V. W. J. THIEME & CIE - ZUTPHEN

Titelplaat:

Als op klare winteravonden ORION hoog aan de hemel staat, ontwaakt in iedereen de amateurastronoom. Wie dan toegeeft en zich verder in de astronomie gaat verdiepen, is reddeloos verloren. Zo verging het de schrijver van dit boek. (foto: Robert Phildius, Zwitsers amateurastronoom.)

Opgedragen aan:

U
K R
K U A
A N T O N
F T I
E L S E A
K O R
L R
A D R I A N
U
S

augustus 1965

Dikwijls is een opdracht een persoonlijke kwestie van de schrijver. Iets dat hij uit zijn privé-sfeer mag brengen onder een groter publiek. De opdracht die op deze pagina „gescrabbeld" staat, heeft echter ook betekenis voor de lezer. De uitvinding van Anton Kutter was niet alleen aanleiding om dit boek te schrijven, maar ze maakt er ook een belangrijk deel van uit. Dat de lezer een aantal onduidelijkheden en een groot aantal drukfout en bespaard zijn gebleven, is te danken aan Drs K. Compaan, die alles zorgvuldig gecorrigeerd heeft.

*De uitgever is op meer dan royale wijze op alle wensen van de schrijver ingegaan; misschien zal dit de lezer nog meer opvallen in het vervolg op dit boek: Thieme's sterren***foto***boek, dat bij het ter perse gaan van dit boek drukklaar gemaakt wordt.*

Bruno Ernst.

Hoofdstuk 1 Wat heeft een hongerige maag nu aan astronomie?

Dit schreef een beroemd astronoom bijna 400 jaar geleden.
We zouden mogen verwachten, dat hij als antwoord hierop, wijst op het belang van de astronomie voor de tijdrekening, voor de navigatie, of op de mogelijkheid om 's mensen karakter en toekomst uit de sterren af te kunnen lezen, want Kepler (die het bovenstaande in 1596 schreef) leefde in een tijd, waarin de astrologie nog druk en serieus beoefend werd.
Niets van dit alles; luister maar naar zijn antwoord:

> "Men duldt schilders omdat zij de ogen, musici, omdat zij de oren strelen, ofschoon ze ons overigens van geen nut zijn. Het genot dat wij in hun werken scheppen is niet alleen passend voor de mens, het strekt hem ook tot eer. Wat een onverstand, wat een domheid dan, de geest een haar toekomende vreugde te willen ontzeggen, maar die wèl aan de ogen en oren te gunnen. De algoede Schepper, die de natuur uit het niets heeft geschapen, heeft ieder schepsel niet alleen gegeven wat nodig is, maar bovendien nog schoonheid en vreugde in overvloed. We vragen toch ook niet, wat voor *nut* het vogeltje denkt te trekken uit zijn zang, want we weten, dat zingen zijn lust en zijn leven is, omdat het geschapen is om te zingen. Eveneens mogen wij niet vragen waarom de menselijke geest zoveel moeite eraan besteedt om de geheimen van de sterrenhemel te doorgronden".

Dit schreef Kepler over hen die zich, zoals Kepler zelf, geheel wijdden aan de verdere ontwikkeling der sterrenkunde; over de *vakastronomen* zouden wij tegenwoordig zeggen.
Maar wat beweegt nu die honderdduizenden, over de hele wereld verspreid, die regelmatig een deel van hun nachtrust opofferen om 'naar de sterren te kijken'. Die een deel van hun inkomsten besteden om een kijker en wellicht nog andere astronomische instrumenten te kopen? De tijd dat een *amateur-astronoom* nog belangrijke ontdekkingen kon doen is voorbij. Op weinige uitzonderingen na, die we direct nog zullen bespreken, kan hij met zijn bescheiden hulpmiddelen en zijn bescheiden kennis geen prestaties meer leveren die wetenschappelijke waarde hebben.
Een goede vijftig jaar geleden was dit anders; toen kon de bekende maanonderzoeker Ph. Fauth nog schrijven: "Een amateur, die over een 15-cm kijker beschikt, is moreel verplicht wetenschappelijk werk te doen." En toch, het aantal amateur-astronomen neemt niet af, maar stijgt voortdurend.

Patrick Moore, zelf een enthousiast amateur-astronoom, schrijft: "Ook de amateur die niet helemaal opgaat in zijn hobby, die niet de ambitie heeft om zijn eigen sterrekijker te bouwen en wetenschappelijke arbeid te verrichten, kan door het waarnemen van de hemellichamen vreugde beleven, en de hemel zal voor hem opengaan. Wat geeft het, als hij nooit een komeet ontdekt, of het raadsel van de marskanalen niet oplost? Als iemand pianoles gaat nemen, beeldt hij zich toch ook niet in, dat hij ten slotte zo goed zal spelen als een Paderewski"!

Maar laten we eerst eens vertellen welke wetenschappelijke waarnemingen van de amateur in onze tijd nog door de vakastronomen op prijs worden gesteld, omdat zij er zelf te weinig tijd voor hebben. Hij kan veranderlijke sterren waarnemen, meteoren waarnemen en sterbedekkingen door de maan. In de laatste jaren is daar nog iets belangrijks bijgekomen: kunstmaanwaarnemingen. Over elk van deze onderwerpen vindt u in dit boek genoeg aanwijzingen om ermee te kunnen beginnen. Maar stelt u zich dit niet voor als hèt ideaal. Degene die hier niets voor voelt, is daarom nog geen minderwaardig soort amateur-astronoom. De amateur bezoekt het heelal als een tourist in de beste zin van het woord. Hij geniet van zijn bezoek aan andere verre werelden en hij doet er nieuwe krachten op. En wat is er aan het firmament niet allemaal te beleven! Met het ongewapende oog kan men de planeten volgen op hun baan langs de sterren. Hun langzaam, in de loop van maanden verdwijnen in de avondschemering, en hun nieuwe verschijning aan de morgenhemel. Hun samenstanden met elkaar en hun ontmoetingen met de maan, een schouwspel, dat elke maand weer opnieuw begint. En de sterrenhemel zelf: wie de sterrenbeelden leert kennen, en vertrouwd is geraakt met de steeds wisselende aanblik die de sterrenhemel biedt in de loop van de seizoenen of gedurende een enkele nacht, leeft daardoor al rijker dan iemand die dat moet missen. Maar voor wie een sterrekijker bezit — al is het een heel bescheidene — openbaart de hemel nog veel meer van zijn pracht: de maan met haar bergketens, walvlakten, ringbergen en kraters, de zon met zijn geheimzinnige zonnevlekken, de maantjes van Jupiter in steeds andere formatie en de wolkenbanden op de machtige Jupiter, en soms de beroemde rode vlek. Als Mars heel dicht bij ons staat zien we de witte poolkap op de rode planeet. En Saturnus, dat juweeltje aan het firmament, met zijn prachtige ringen. Het flonkerende tapijt van de melkweg toont zijn ontelbaar vele sterren; het Zevengesternte is mooier dan de prachtigste kerstboomversiering en de dubbelsterrenhoop van Perseus doorstaat een vergelijking met de schoonste aardse juwelen. Het fijne trapezium van sterren gebed in de zwak groen oplichtende grote Orionnevel vergeet niemand meer die het ooit door de kijker gezien heeft.

En de aanblik van een onzer buurmelkwegen: de Andromedanevel, maakt een diepe indruk als men weet dat dit licht van ver buiten onze eigen melkweg komt, en dat dit flauw-wit lichtende vlekje een zelfde reusachtig sterrenstelsel is als onze melkweg. De prachtigste astronomische foto, genomen met de machtigste telescoop op aarde, kan zulke ervaringen niet vervangen.
Nee het gaat er voor de amateur-astronoom helemaal niet in de eerste plaats om een steentje bij te dragen tot de nu langzamerhand tot een enorme stad uitgegroeide astronomische kennis. Laat hij genieten van wat hij ziet. En laat hij zich die kennis van de astronomie eigen maken die hem doet begrijpen wat hij ziet.
De directeur van een grote Duitse volkssterrenwacht schreef hierover: "In geen geval moet de amateur zich alleen toeleggen op nuchtere wetenschappelijke arbeid. In dat geval verliest de astronomie voor hem het karakter van een liefhebberij. De amateur zou zich daardoor beroven van alle ideale voorstellingen die hem in dit gebied gelokt hebben. Een diepe bezinning, een hartelijke verwondering en een emotionele band met de wonderen van het heelal moeten voor de amateur in ieder geval een onaantastbaar goed op zichzelf zijn".
Voor deze amateur-astronoom hebben wij dit boek geschreven.
Kan de amateur-astronoom zich dan geen waardevolle opgave stellen? Het is zelfs bij een hobby prettig te voelen, dat men nog iets meer doet dan er zelf plezier in hebben, en de meeste mensen rechtvaardigen hun hobby's dan ook met motieven die buiten de hobby zelf liggen. Hans Rohr, de directeur van de volkssterrenwacht in Schaffhausen bedeelt de amateur-astronoom een taak die hij veel belangrijker vindt dan het meewerken aan een wetenschappelijk programma:
"Er tekent zich steeds duidelijker een taak af voor de amateur-astronoom en de amateur-telescoopbouwer, een praktisch onbegrensde taak, die hem minstens zoveel voldoening schenkt, als het vlijtig bezig zijn met een wetenschappelijk probleem. We bedoelen een dienstbetoon aan anderen: maak de medemens deelgenoot van uw eigen avonturen in de wereld van de sterren. Men kan familie en bekenden ervan laten profiteren; men kan onderwijzers en leraren met hun leerlingen uitnodigen of zelfs, met inschakeling van de pers, kijkavonden organiseren voor groter publiek.... Men bewijst hierdoor nu, — zij het indirect —, de wetenschap een dienst: grotere interesse onder brede lagen van de bevolking zal een gunstige voedingsbodem voor de vorming van astronomen in de toekomst zijn, en er zullen ook grotere bedragen beschikbaar worden gesteld voor astronomisch onderzoek".

In veel gevallen wordt de amateur-astronoom ook amateur-spiegelslijper en telescoopbouwer. Er zijn er die een telescoopspiegel slijpen om te kunnen waarnemen, maar dit contact met de praktische optiek is zo boeiend, dat er amateur-astronomen zijn, die waarnemen om

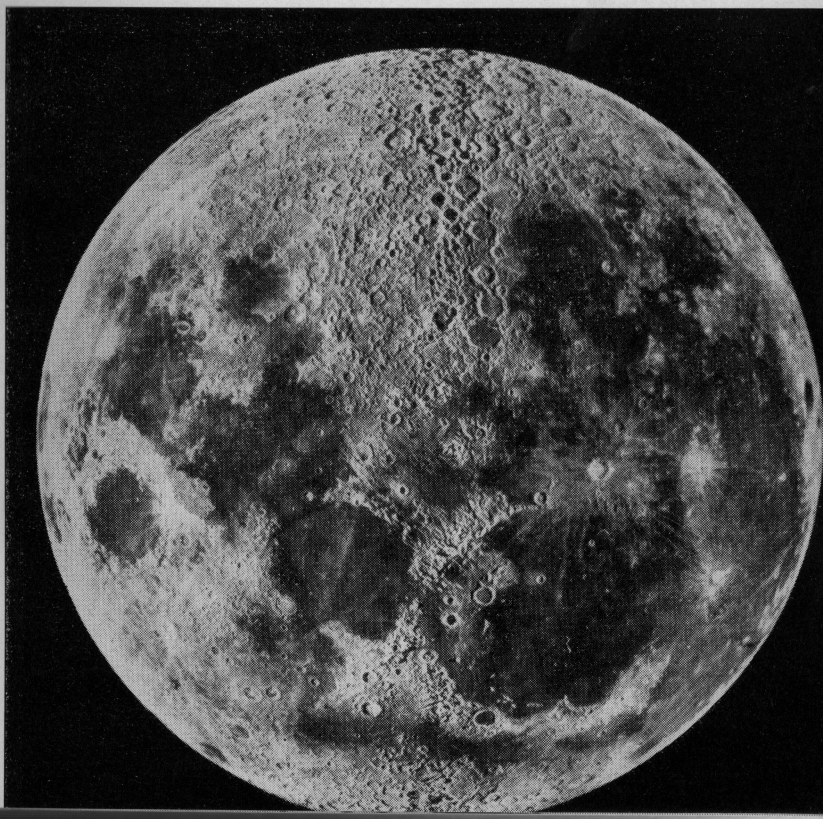
daardoor het slijpen van telescoopspiegels te kunnen rechtvaardigen. Zowel de bouwers als de waarnemers zullen in de volgende hoofdstukken aan hun trekken komen.
Dit boek is geen inleiding tot de sterrenkunde; men zal vele onderwerpen tevergeefs zoeken. Om de omvang van dit boek binnen redelijke grenzen te houden, hebben we een keuze gemaakt: het accent ligt op het leren kennen van de telescoop, op de bouw van een eigen telescoop en op het waarnemen ermee. En juist hierover is in ons taalgebied nog niet veel verschenen.
Hoofdstuk 2 geeft in vogelvlucht de bouw van het heelal. Hoofdstuk 3 behandelt de geschiedenis van de telescoop en geeft een overzicht van de telescooptypen die voor amateurgebruik in aanmerking komen. Hier worden ook de aanwijzingen gegeven om zelf een bescheiden 'brillenglaskijkertje' te maken.
In hoofdstuk 4 wordt de werking van een telescoop nader onderzocht. Daarna beginnen we met het bouwen van onze eigen kijker vanaf het vervaardigen van de optiek tot en met een goede montering met fijnregelingen. (Hoofdstuk 5 t/m 7).
De lezer heeft dan reeds lang onze voorkeur opgemerkt voor de zgn. Kutter-telescoop waarvan er de laatste jaren alleen in Nederland al honderden gebouwd zijn. We hopen dat onze uitgesproken voorkeur niet irriterend werkt op lezers die de voorkeur geven aan een ander telescooptype. Wij bouwen dus een Kutter-telescoop, maar geven ook genoeg aanwijzingen om een Newton-telescoop te maken.
Met opzet hebben wij het testen en corrigeren van spiegels gescheiden van het slijpen en polijsten, en wel om de volgende redenen: Een telescoopspiegel vervaardigd naar de aanwijzingen in hoofdstuk 5 blijkt in de meeste gevallen niet veel af te wijken van de sferische vorm. Het testen en corrigeren schrikt — zelfs alleen al bij de beschrijving — velen af. Een onvolmaakte spiegel is nog geen onbruikbare spiegel; men kan zijn spiegel later altijd nog corrigeren en het lijkt me de natuurlijke gang van zaken, dat een amateur daar pas aan begint als hij zijn kijker al enige tijd gebruikt heeft. Dit testen en corrigeren wordt in hoofdstuk 8 uitvoerig beschreven.
Hoofdstuk 9 en 10 gaan over het waarnemen. De hoofdstukken die dan volgen zijn alle uitbreidingen van de reeds behandelde stof. Hierdoor was het mogelijk de aspirant-telescoopbouwer in hoofdstuk 5, 6 en 7 zonder zijpaden te leiden naar zijn doel.
In een tweede boek: *Thieme's Sterrenfotoboek* wordt de sterrenfotografie voor de amateur behandeld.

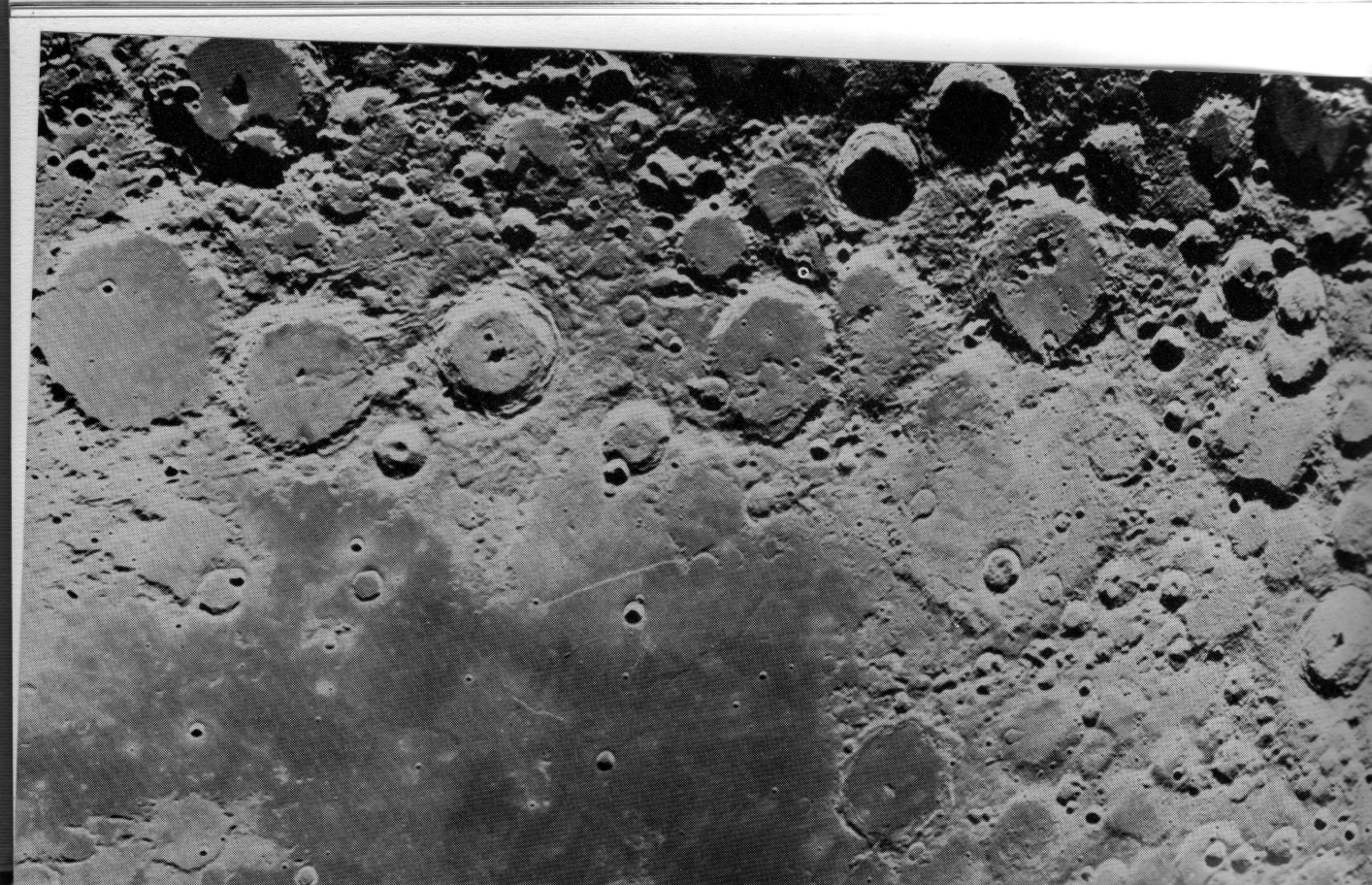
Hoofdstuk 2 Het lied van de hemel

De maan. Als op een zomeravond de bijna volle maan boven de oostelijke horizon hangt en zijn diepgele kleur*) prachtig contrasteert met het volle blauw van de hemel, vind ik haar als hemellichaam het meest indrukwekkend. Het is niet de koude sinterklaasman die door de kale takken van de bomen schijnt maar 'de maan der gelieven'. Voor kijkerbezitters is de bijna volle maan echter weinig interessant. De maan vertoont de meeste details langs de terminator: de scheidingslijn tussen licht en donker. Onderstaande afbeelding is dan ook geen volle maan, maar een foto samengesteld uit een opname van eerste en laatste kwartier.

---

*) *Het maanlicht is overigens niet geel maar wit, hetgeen men gemakkelijk kan controleren door de maan te bekijken langs het licht van een straatverlichting met TL-buizen.*





Een steeds wisselend schouwspel. Op het maanlandschap komt de kijkerbezitter, letterlijk en figuurlijk, nooit uitgekeken. Zelfs met een 5 cm kijkertje zijn er zoveel bijzonderheden te zien, en deze bijzonderheden zijn onder zoveel verschillende belichtingen waar te nemen, dat de maan altijd een boeiend schouwspel biedt.
En wie er enige tijd voor over heeft (enkele uren) kan de zon langs de terminator over bergen, kraters en vlakten zien opgaan of ondergaan. Binnen een kwartier kan men al duidelijk het korter of langer worden der schaduwen opmerken.
De opname hiernaast is een van de mooiste die met de Hooker-telescoop op de Mount Wilson gemaakt zijn. U kunt het gebied terugvinden op de vorige pagina. Daar ziet u rechts boven het midden een grote zwarte vlakte: Mare Nubium, die aan de linkerzijde begrensd is door een keten van walvlakten en ringbergen. De grootste, links onder Mare Nubium, met een zeer donkere binnenvlakte is Ptolemeus. En dit is ook de walvlakte die u onderaan bij de opname hiernaast ziet.
Van onder naar boven krijgen we de volgende walvlakten en ringbergen: Ptolemæus, Alphonsus, Arzachel. Dan komt er als onderbreking een heuvelachtig gebied, waarin enige kleinere kraters liggen. Dan komt de walvlakte Purbach waarvan de rand en de binnenvlakte overwoekerd zijn door jongere kraters. Rechts onder Purbach ligt de vrij grote krater Thebit, met in zijn wand een kleinere krater. Nu zijn we meteen in een heel interessant gebied: rechts van Purbach, in Mare Nubium, ziet u een fijne witte rechte lijn, dit is de Rechte Muur, ca. 110 km lang en 200 m hoog. Als de zon van de andere kant schijnt (bij wassende maan) zien we een zwart streepje.
In de nacht van 2—3 november 1958 nam de Russische astronoom Dr. Kozyrev in het centrum van de walvlakte Alphonsus een vulkanische uitbarsting waar. Dit was een uniek feit, want van alle veranderingen die men de afgelopen drie eeuwen meende te zien of werkelijk gezien heeft, is dit de eerste die fotografisch is vastgelegd, en die dus door andere astronomen gecontroleerd kan worden. Nu moet u zich niet voorstellen, dat Kozyrev op die bewuste nacht zag, dat er een prachtige rookpluim boven Alphonsus hing, en dat hij daarvan een foto maakte. Het feit van de vulkanische uitbarsting kan men afleiden uit enige spectraalopnamen die Kozyrev maakte. In de afgelopen jaren zijn meer van dit soort verschijnselen op de maan ontdekt. Alphonsus is door de Ranger IX op 24 maart 1965 van zeer dichtbij gefotografeerd.

De zon is aan de hemel ongeveer even groot als de maan nl. ca. ½°. De werkelijke middellijn van de zon is echter meer dan 400 maal zo groot. De maan zou dus op de foto hiernaast niet veel groter zijn dan het kleinste zonnevlekje, dat nog zichtbaar is. De bovenste foto is samengesteld uit twee verschillende opnamen: de zonsrand waaruit gigantische stromen gloeiend gas (protuberansen) naar buiten geslingerd worden is met een speciaal instrument opgenomen op 9 dec. 1929. De zonneschijf met zonnevlekken is 7 april 1947 opgenomen. Deze samengestelde foto geeft nog maar een zwakke indruk van de vele verschijnselen die zich tegelijkertijd op de zon afspelen.

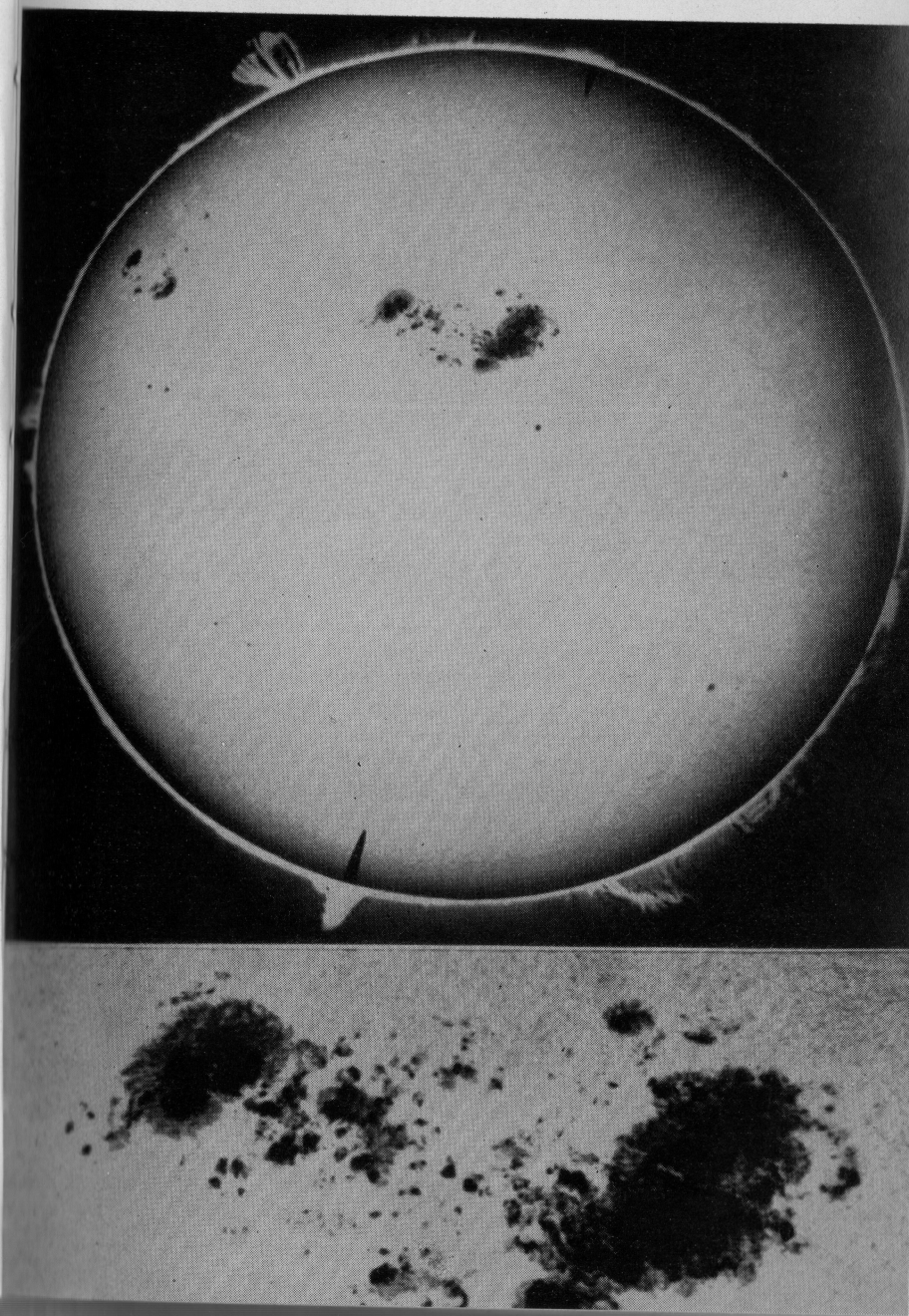
Reeds met de allerkleinste telescoop kan men zonnevlekken zien. Men moet dan een zonnefilter (een zeer donker filter, dat hiervoor speciaal vervaardigd is) voor het oculair monteren. Nog veiliger is het als men het oculair enige centimeters naar achteren haalt en op een wit scherm het beeld van de zon opvangt: de zonnevlekken verschijnen dan als onregelmatige zwarte vlekjes. Men kan ze van dag tot dag volgen en zelf ontdekken, dat de zon in ongeveer 25 dagen om haar as wentelt. U kunt ook het groeien en verdwijnen van de zonnevlekken waarnemen.

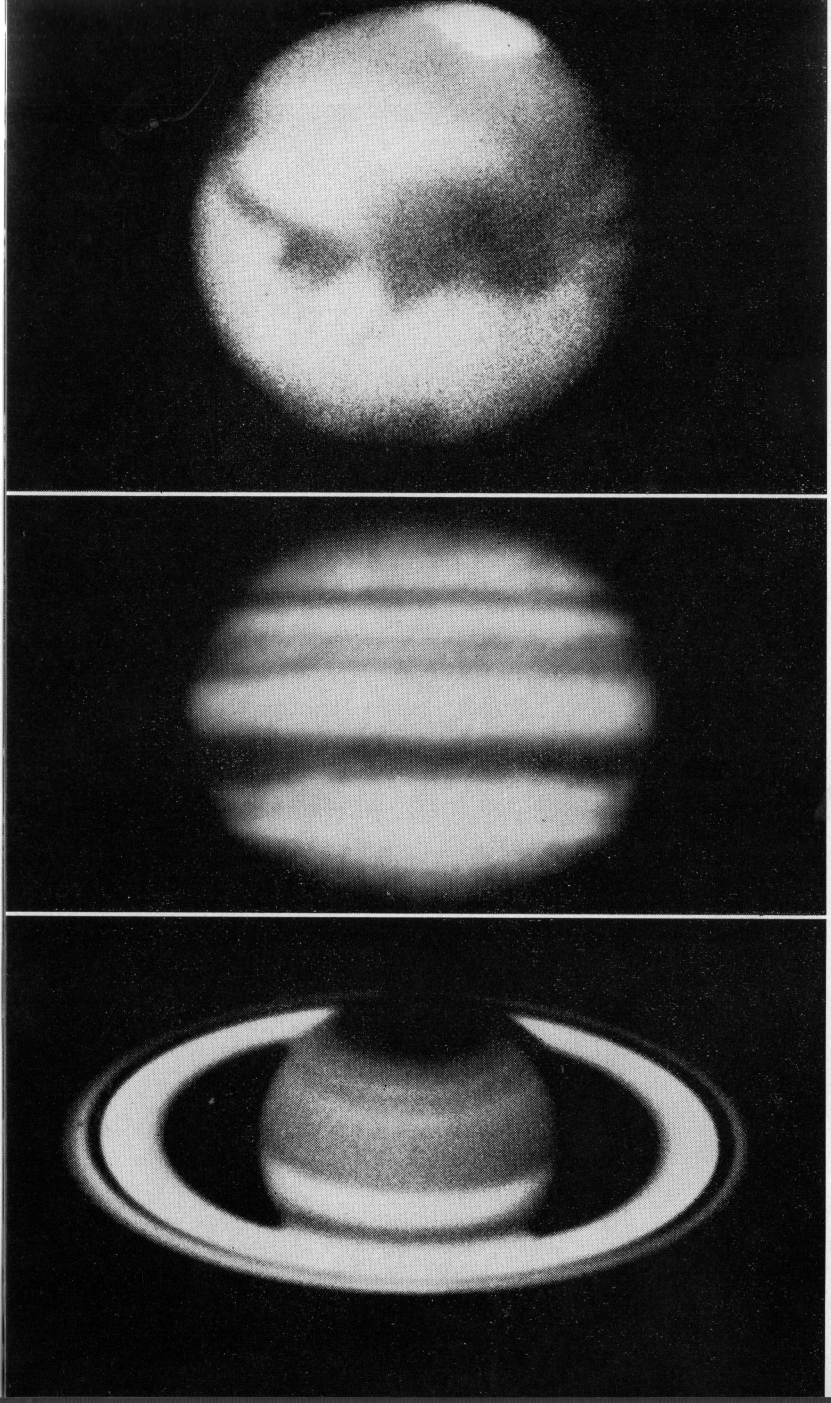
De fijne structuur van de zonnevlekken (onderste foto) is al te zien met een 5 cm telescoop.

Ook het waarnemen en fotograferen der protuberansen ligt binnen het bereik van de amateur. Het objectief van een protuberansenkijker behoeft niet achromatisch te zijn, maar het moet wel zeer fijn uitgepolijst zijn. Verder zit aan het oculaireinde een verlengstuk waarin een metalen plaatje voor een kunstmatige zonsverduistering zorgt, een lenzenstelsel en een interferentiefilter. Nu dit laatste tegen redelijke prijs kan worden gemaakt, zijn er al heel wat amateurs die een protuberansenkijker gebouwd hebben.

Ongeveer 13 maal in een eeuw kunnen we de planeet Mercurius over de zonneschijf zien trekken. Overgangen van de planeet Venus zijn veel zeldzamer: de laatste was in 1882, en de volgende zal op 8 juni 2004 plaats vinden.

Onze zon is een betrekkelijk kleine ster, en het is de enigste ster die de astronomen in detail kunnen waarnemen: de volgende ster staat al bijna 300.000 maal zo ver van ons af als de zon. Zelfs in de grootste telescopen is deze niet als een schijfje, maar als een lichtpuntje te zien.





Het rijk van de zon. Van de acht grote planeten die hun banen rond de zon beschrijven is Mercurius interessant omdat hij alleen onder gunstige omstandigheden gezien kan worden. Venus is een juweel aan de ochtend- of avondhemel en voor kijkerbezitters interessant, omdat zij schijngestalten vertoont. De planeten Mars, Jupiter en Saturnus, hiernaast (niet op schaal!) afgebeeld, zijn in een niet te kleine kijker interessant door de bijzonderheden die wij op hun oppervlakte kunnen waarnemen. Het schijfje van Mars is aan de hemel niet groter dan een maankratertje, en het is dan ook verbazingwekkend, dat men er nog zoveel details op kan waarnemen. Als Mars het dichtste bij de aarde staat, is het de gunstigste tijd voor waarnemingen. Dit gebeurt ongeveer om de twee jaar. In het gunstigste geval heeft Mars dan een diameter van ca. 25 boogsecunden, dat was b.v. in 1956 en we zullen tot 1971 moeten wachten tot er weer zo'n gunstige stand komt. Tijdens alle tussenliggende opposities van Mars wordt het schijfje ca. 15 boogsecunden.

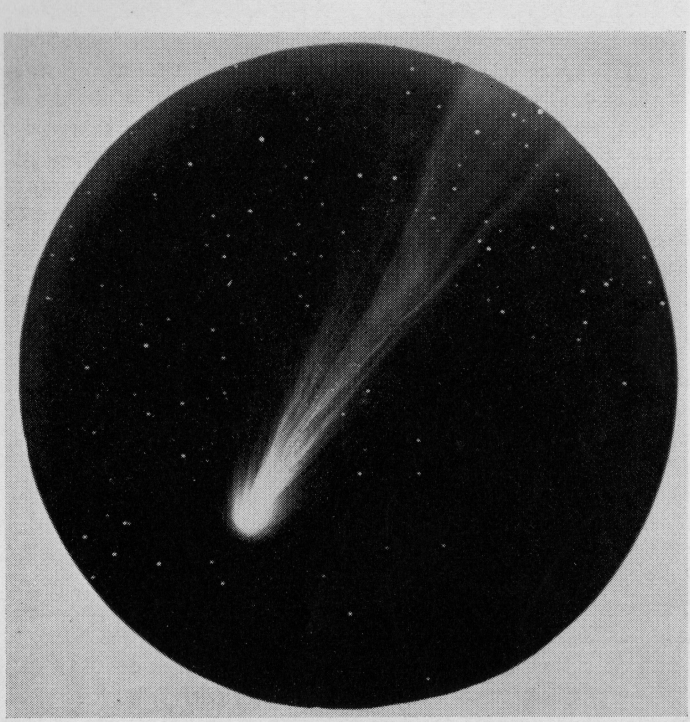
Op de foto is de witte poolkap duidelijk te zien. Bij een gunstige oppositie kan men deze en de donkere gebieden op de foto al in een 6 cm kijker zien. De foto's door de Mariner naar de aarde geseind tonen natuurlijk onvergelijkelijk veel meer details.

Jupiter biedt zelfs voor de kleinste kijker een boeiend schouwspel door de steeds wisselende stand van zijn vier helderste manen. Met een 6 cm kijker zijn duidelijk de equatoriale banden en de Rode Vlek op de oppervlakte te zien. De middellijn van Jupiter is bijna 11 maal zo groot als die van de aarde en hij draait in 10 uur om zijn as. Als men een oppervlaktedetail in het oog kan houden (b.v. de Rode Vlek, die echter niet altijd duidelijk zichtbaar is) kan men de rotatie dus na een half uur al duidelijk merken.

Saturnus is ongelofelijk mooi en indrukwekkend, gezien door een bescheiden kijker. Hoe groter de objectiefmiddellijn des te meer details kan men in de ring onderscheiden. De ring zien we soms van boven, soms van opzij (dan is ze in kleinere kijkers geheel onzichtbaar), en soms van onderen.

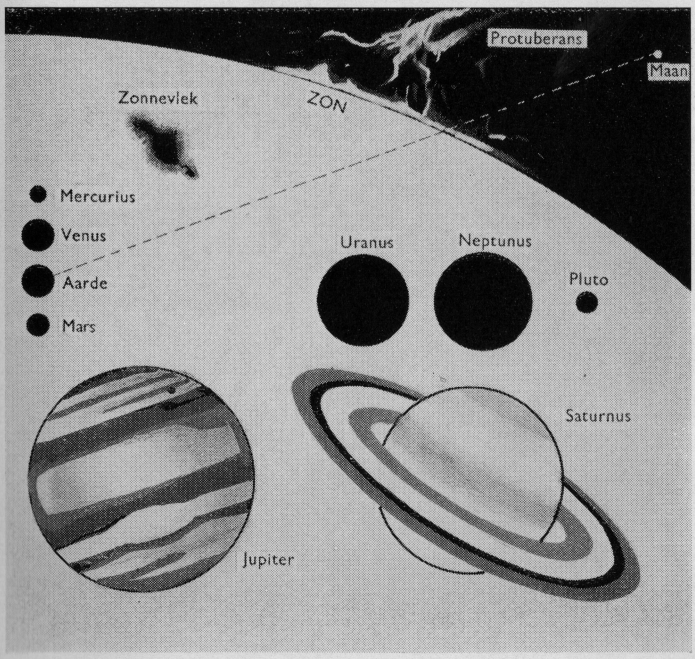
De vrij grote planeten Uranus (ontdekt in 1781) en Neptunus (ontdekt in 1846) kan men met een kleine kijker wel tussen de sterren vinden, als we hun positie kennen. Tijdens de opposities zijn de helderheden van deze planeten respectievelijk 6 en 8 magnituden.

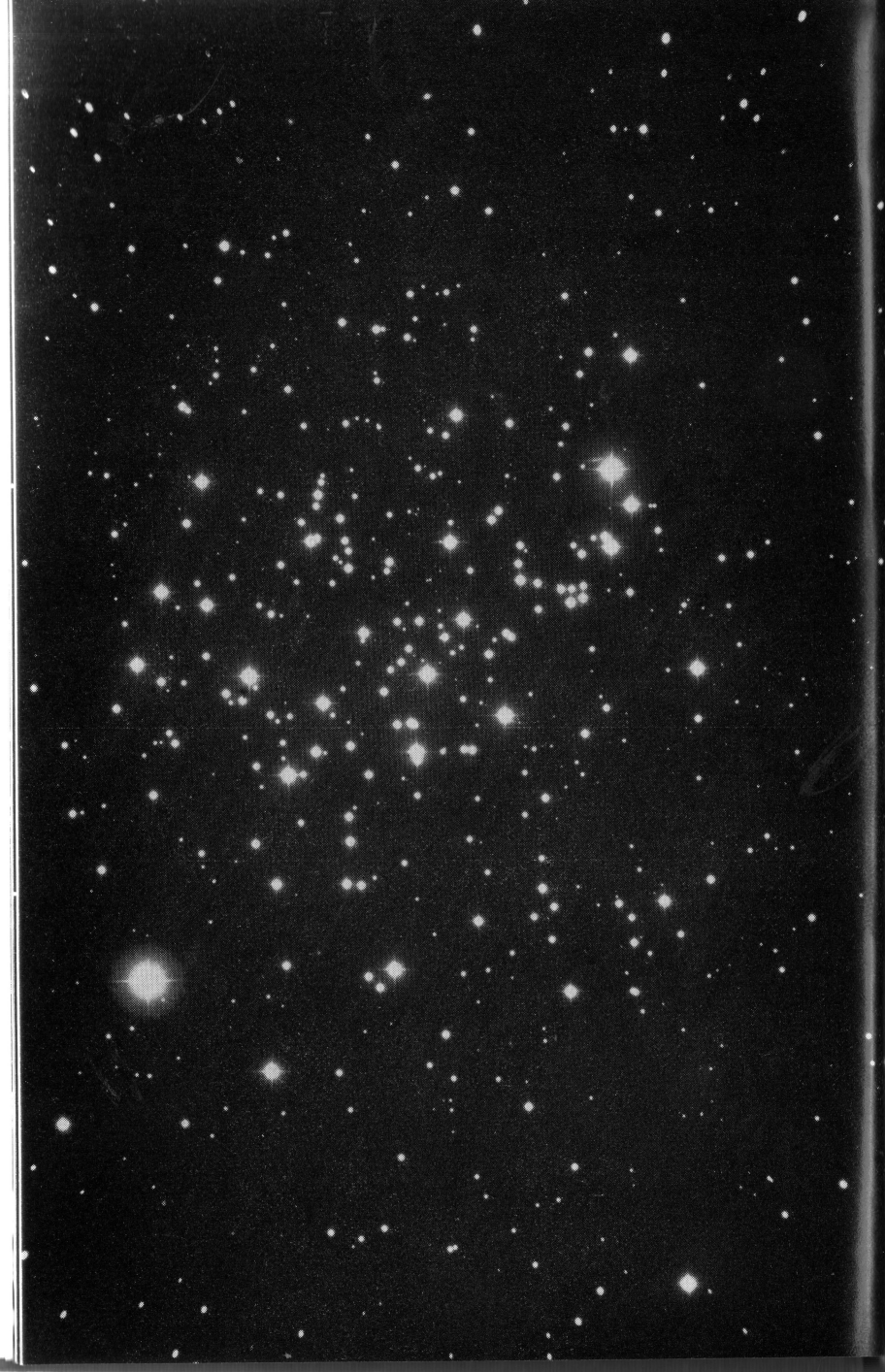
Pluto die bijna 40 maal zover van de zon staat als de aarde (in 1930 ontdekt) bereikt nauwelijks de helderheid van een ster van de magnitude 14, het is dus geen object voor een amateurtelescoop.

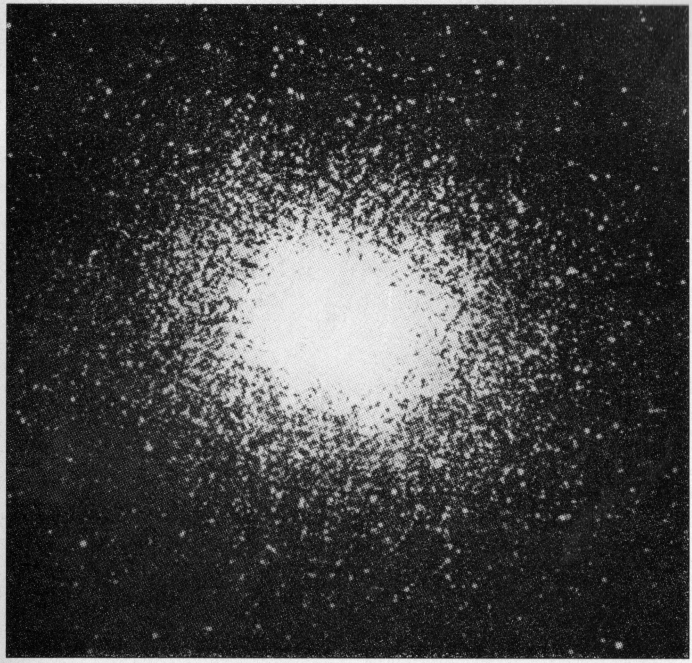


Behalve de acht grote planeten heeft men nog ca. 1600 kleine planeten of planetoïden ontdekt waarvan de banen hoofdzakelijk tussen die van Mars en Jupiter liggen. De grootste daarvan zijn in kleine kijkers waar te nemen (Ceres, Pallas en Vesta).
Elk jaar worden meerdere kometen ontdekt. De meeste daarvan zijn niet met het ongewapende oog, noch met een kleine kijker te zien. Maar af en toe verrast ons een bijzonder heldere komeet, zoals in 1957 de komeet Arend Roland. De hierboven afgebeelde komeet is de komeet van Morehouse (1908). Kometen bestaan uit kleine vaste deeltjes die als een ijle wolk in ons planetenstelsel hun banen beschrijven. Als ze de zon naderen begint de staart zich te ontwikkelen. Ze bestaat uit gas dat door de elektrisch geladen deeltjes, door de zon uitgezonden, uit de kern van de komeet gestoten wordt.
Heldere kometen kan men het beste waarnemen met de minimale

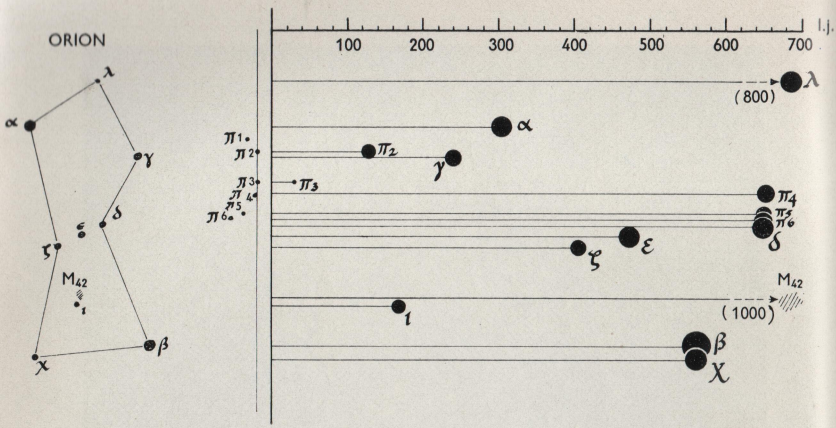
vergroting van een telescoop. Bij sterkere vergroting ziet men de staart minder duidelijk.
In onderstaande tekening zijn een gedeelte van de zonneschijf met zonnevlekken en protuberansen en de planeten op schaal getekend. Ook de afstand aarde-maan is op dezelfde schaal. We zien dat de massa van alle planeten tezamen nog maar een fractie is van die van de zon. Eigenlijk zouden we ook de onderlinge afstanden van de planeten tot de zon op schaal moeten tekenen. Op dezelfde schaal, zou de aarde ongeveer 30 meter van de zon getekend moeten worden en Pluto op een afstand van meer dan een kilometer! Als wij aan de avondhemel een sierlijke maansikkel zien vlak bij de fel stralende Venus, en als dan ook nog Jupiter, Saturnus en Mars zichtbaar zijn, dan is dit een indrukwekkend vertoon met .... bijna niets: het zonnestelsel is een overweldigend grote lege ruimte met hier en daar een planeet, die alleen maar zichtbaar is dank zij de ster in het centrum die stofjes doet oplichten.





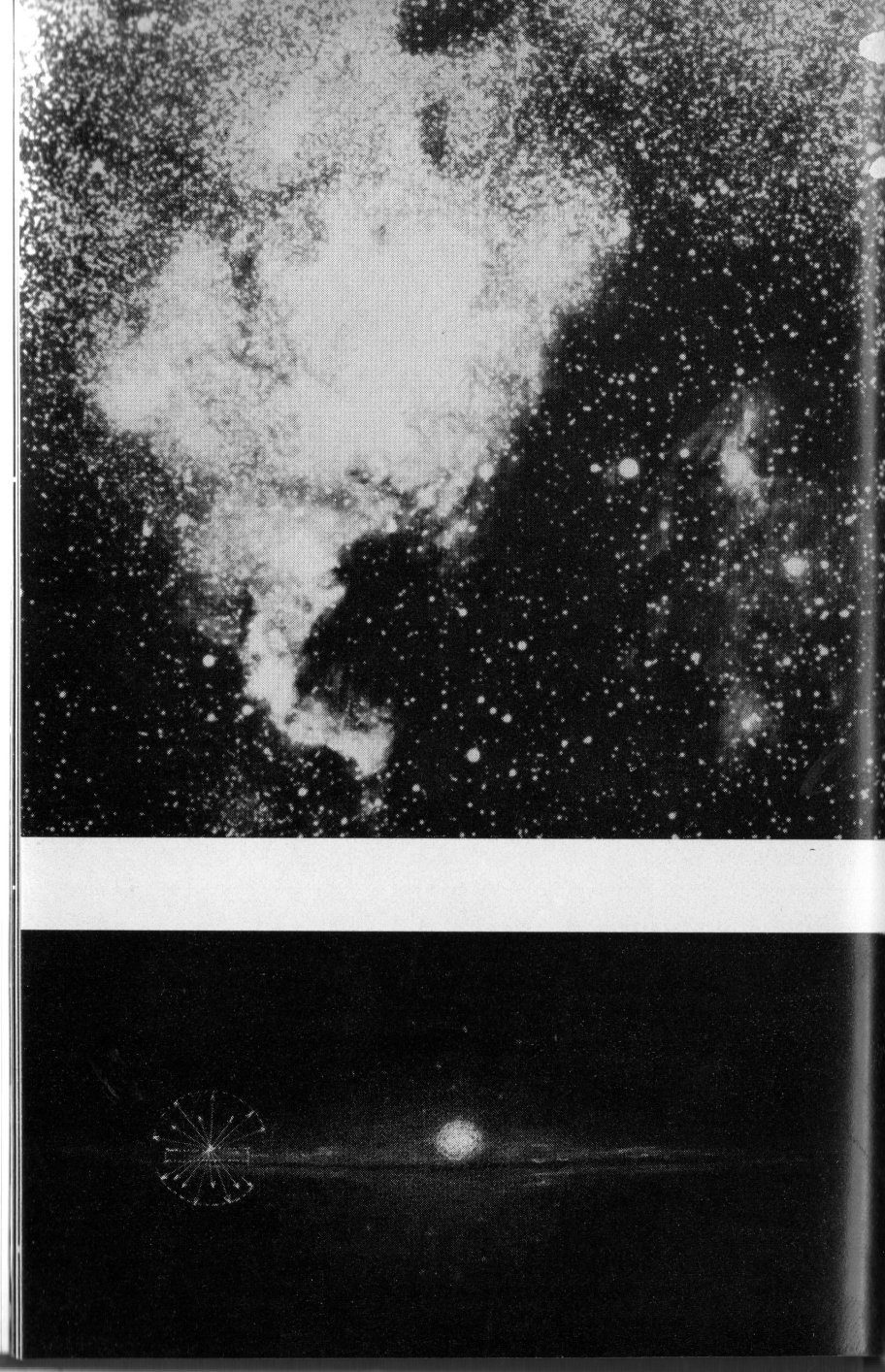


Het rijk der sterren. De dichtstbijzijnde ster is al 4,2 lichtjaren van ons verwijderd. In de schaal, gebruikt op de vorige bladzijde, ligt deze ster (Proxima Centauri) bijna 10.000 km van de zon. En toch gaat het hier over de dichtstbijstaande ster! Op pag. 18 is een open sterrenhoop afgebeeld: M 67 in de *Kreeft*. Dit is niet de bekende open sterrenhoop in de Kreeft die u reeds met het blote oog kunt zien en die bij een zwakke vergroting een prachtig object in de kijker is. M 67 is zwakker (m 6). Het is een groep van ongeveer 70 sterren, op een gemiddelde afstand tot ons van 6000 lichtjaar. Open sterrenhopen (zoals de Plejaden, en de dubbelsterrenhoop in Perseus) zijn de meest spectaculaire objecten in een kleine kijker. (± 50 zijn er met een kleine kijker waar te nemen). De hierboven afgebeelde bolvormige sterrenhoop M3 in de Jachthonden, is in kleine kijkers slechts als een nevelachtig bolletje te zien. Met een 20 cm kijker ziet men al vele sterren afzonderlijk. Op foto's heeft men bijna 50.000 sterren kunnen tellen. Het zijn er echter veel meer, want op de foto's is het centrum één lichtvlek. M 3 is 40.000 lichtjaren van ons verwijderd.
In het sterrenbeeld *Hercules* vinden we de bolvormige sterrenhoop M 13, die iets helderder is dan M 3.



De Crabnevel in de Stier is het overblijfsel van een supernova-uitbarsting, die in het jaar 1054 gezien moet zijn. Het gas dat eerst in de buitenste laag van de ster aanwezig was beweegt zich met grote snelheid van het centrum af en heeft nu reeds een onvoorstelbaar grote ruimte ingenomen. De Crabnevel, die reeds met kleine kijkers te zien is (de vezelachtige structuur ziet men pas met een 30 cm kijker) is ook een sterke bron van radiostraling.
Sterexplosies op bescheidener schaal (novae) worden in ons melkwegsysteem een of tweemaal per jaar waargenomen. Het totaal aantal novae dat jaarlijks in onze melkweg verschijnt wordt geschat op 25.

De sterren aan de hemel lijken alle even ver van ons verwijderd. Soms dringt de suggestie zich op, dat de helderste sterren dichterbij staan. In de bovenstaande figuur zien wij links het sterrenbeeld *Orion* zoals we het aan de hemel zien. Rechts is een afstandsschaal in lichtjaren aangebracht, en de sterren van Orion zijn op deze schaal op de juiste afstanden van ons getekend. Bovendien is de absolute helderheid van de sterren tot uitdrukking gebracht door de grootte der cirkeltjes die de sterren voorstellen. Zo zien we dat een vrij zwakke ster als λ een grote absolute helderheid heeft, maar ze staat dan ook op een afstand van 800 lichtjaren. De absolute helderheid van ι is kleiner dan die van π_4, maar toch is ze veel helderder aan de hemel dan π_4, omdat ze dichterbij staat.
Zo'n grafische voorstelling van de sterrenbeelden zegt ons veel meer dan een aantal tabellen, vooral als we de verschillende spectraaltypen van de sterren nog met verschillende kleuren aangeven.
Elke amateur kan zulke grafieken maken als hij over de nodige gegevens beschikt. Bovenstaande grafiek is samengesteld met gegevens uit: Ahnert, Beobachtungsobjekte für Amateurastronomen.



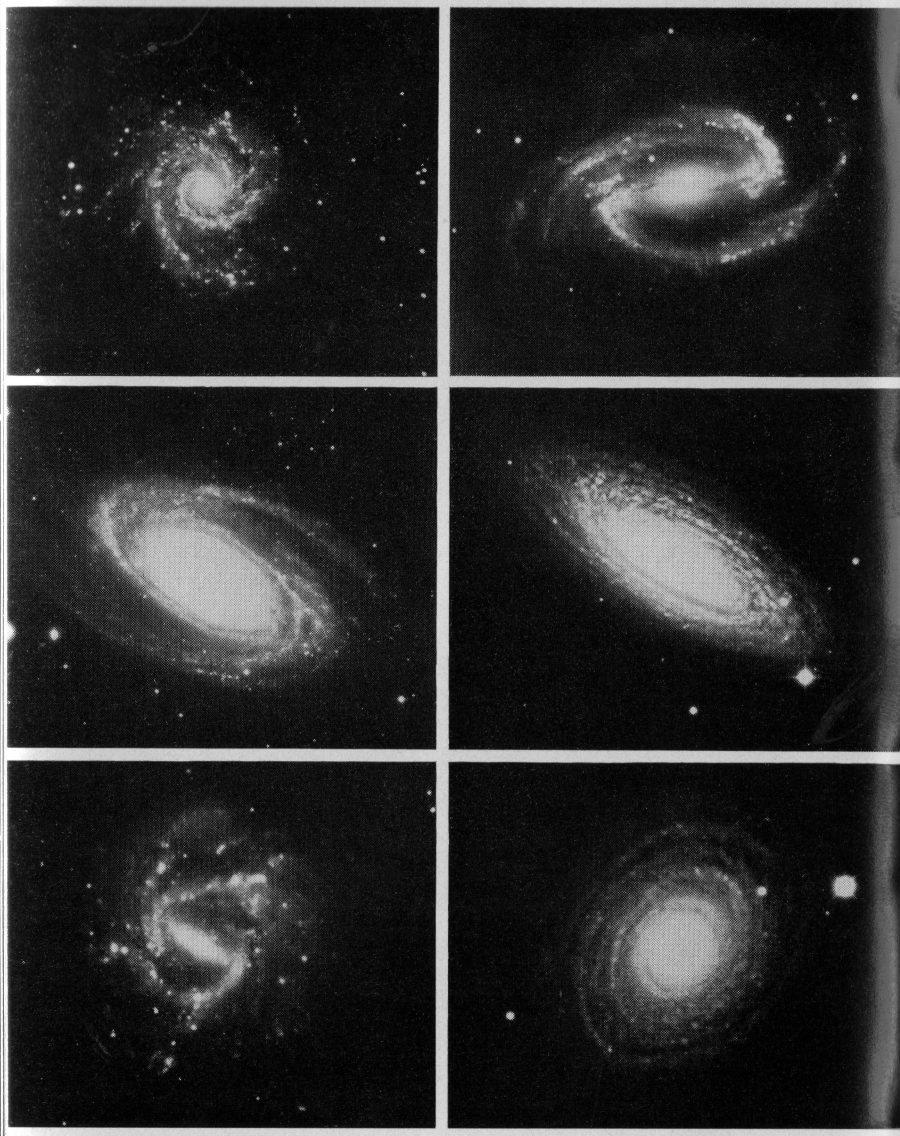
De structuur van de Melkweg. Op heldere nachten is de *Melkweg* met het ongewapende oog een imposant schouwspel. Ook met de kijker (liefst bij een zwakke vergroting) is de Melkweg een interessant gebied om de rijke sterrenvelden en donkere nevels. Maar vooral ook een gebied dat indrukwekkende sterrenfoto's oplevert.
Een van de uitgebreide nevels in het sterrenbeeld *de Zwaan* is hiernaast afgebeeld. Links de *Noord-Amerikanevel* en rechts de *Pelikaannevel.* Op heldere nachten is de *Noord-Amerikanevel* met een 20 cm telescoop bij zwakke vergroting goed te zien. De vorm van de Pelikaannevel komt alleen op foto's naar voren.
Als wij ons ver buiten de Melkweg zouden kunnen verplaatsen, zouden wij haar kunnen zien als een platte schijf bestaande uit meer dan 500 miljard sterren, donkere stofwolken en oplichtende gaswolken. De middellijn van de schijf is ongeveer 100.000 lichtjaren. De zon ligt ongeveer 30.000 lichtjaren van het centrum van de Melkweg. Rond de zon is een cirkel getekend, waarin alle sterren liggen die wij met de grootste telescopen kunnen zien. Het zicht in het vlak van de Melkweg zelf is nog beperkter door de vele donkere wolken. Wat wij als Melkweg zien ligt geheel in het getekende rechthoekje.
De rest van de Melkweg is voor waarneming toegankelijk geworden door de uitvinding van de radiotelescoop. In het centrum van de Melkweg is een betrekkelijk kleine zeer lichtsterke kern, waarvan men anno 1965 nog maar weinig weet. Rond dit centrum, zowel in het vlak van de Melkweg, als ver daarbuiten vinden wij bolvormige sterrenhopen. Enig idee van de uitgebreidheid van ons melkwegstelsel kreeg men eerst toen men de verdeling van deze bolvormige sterrenhopen in de ruimte kon bepalen.
Als we loodrecht op het vlak van de melkweg zouden lijken, zouden we zien, dat dit melkwegvlak gevormd werd door spiraalarmen die van het centrum naar buiten lopen. In deze spiraalarmen vinden we de grootste concentraties van sterren en stof.
De Melkweg roteert: de omloopstijd bij het centrum is groter dan aan de rand. Op de plaats van de zon is de rotatiesnelheid ongeveer 200 kilometer per seconde en over één omwenteling doet de zon meer dan 200 miljoen jaar. Een ster aan de rand van de Melkweg doet er bijna 400 miljoen jaar over.
De Melkweg is een materie-eiland in het heelal. En onze Melkweg is niet het enige heelal-eiland, verre vandaar. De grote en kleine Magelhaense Wolk (als wazige, van de Melkweg afgesleurde flarden, op het zuidelijk halfrond te zien) zijn buureilanden.

De Andromedanevel. Het zwakke nevelachtige 'sterretje', dat we niet ver van de ster γ van het sterrenbeeld *Andromeda* met het blote oog kunnen zien, is weinig indrukwekkend. Met vrij grote kijkers ziet men een langwerpige vorm met nauwelijks enige aanduiding van de structuur. Tegelijk ziet men dan nog twee kleinere nevels in de nabijheid van de grote Andromedanevel (M 31). Waarschijnlijk heeft de Nederlander Simon Marius in 1612 dit vlekje voor het eerst door een telescoop bekeken. Hij beschrijft het als een kaarsvlam die door een stuk hoorn schijnt. Wij weten nu dat dit schijnbaar zo onintéressante nevelvlekje een machtig melkwegstelsel is, met een twee maal zo grote middellijn als onze eigen melkweg. Als we ons afvragen hoever wij met het ongewapende oog in het heelal kunnen kijken, dan is het antwoord: 2.000.000 lichtjaren, want de Andromedanevel is zover van ons verwijderd en de Andromedanevel is, buiten de veel dichter bij ons staande Magelhaense Wolken de enigste melkweg die wij met het ongewapende oog kunnen zien.

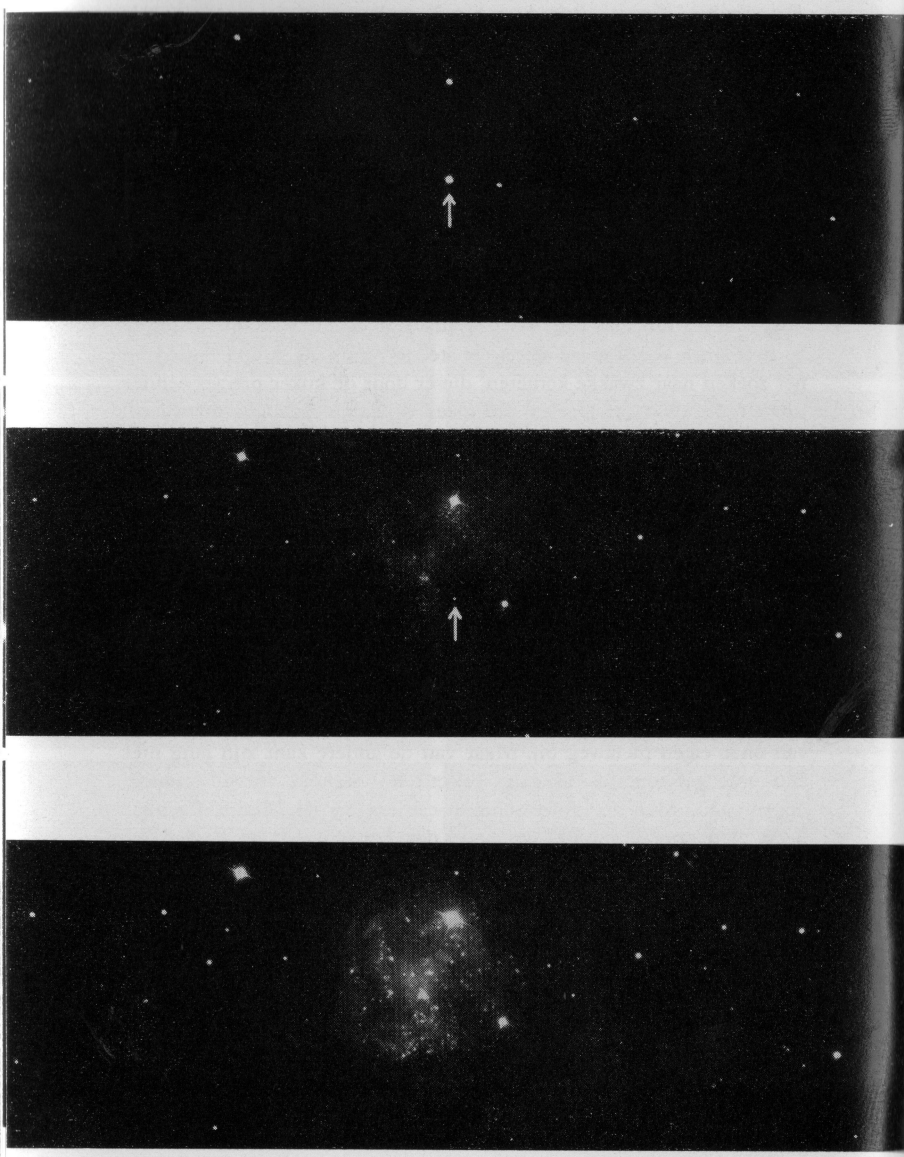
In 1959 heeft men op de sterrenwacht op de Mount Palomar een aantal hemellichamen in kleuren gefotografeerd. De nevenstaande afbeelding van M 31 is er daar een van. We zien dat de spiraalarmen duidelijk blauw zijn. De spiraalarmen zijn opgebouwd uit (onzichtbare) donkere wolken en blauwe, hete, jonge sterren. Het gele licht dat de kern overstraalt en daardoor onzichtbaar maakt komt van veel oudere sterren die meer geel licht uitstralen.

Binnen een straal van 3.000.000 lichtjaren van onze eigen melkweg liggen ongeveer 20 melkwegen, die ruw geschat elk een miljoen lichtjaren van elkaar verwijderd zijn. Elk van deze melkwegen bevat miljarden sterren, en men zou kunnen denken, dat dit alles meer dan genoeg is om het *Heel-al* te vormen. We zullen nog zien, dat deze melkwegen slechts enige zandkorreltjes zijn als we ze beschouwen op de schaal van het tot op heden voor waarneming toegankelijke deel van het heelal.

Het is nog niet zo lang geleden, dat men meende, dat onze melkweg het hele heelal vormde. Zwakke nevels werden alle geacht tot ons melkwegsysteem te behoren. Eerst toen men enig idee begon te krijgen van de afstand van deze nevelvlekjes bleek duidelijk dat sommige ervan ver buiten ons melkwegsysteem moesten liggen. In 1885 ontdekte men een supernova in de Andromedanevel en uit de schijnbare helderheid en de absolute helderheid die men van een supernova kan verwachten, kon men zich wagen aan een schatting van de afstand. Pas in 1924 lukte het om in de Andromedanevel afzonderlijke sterren te fotograferen en toen kreeg men zekerheid.



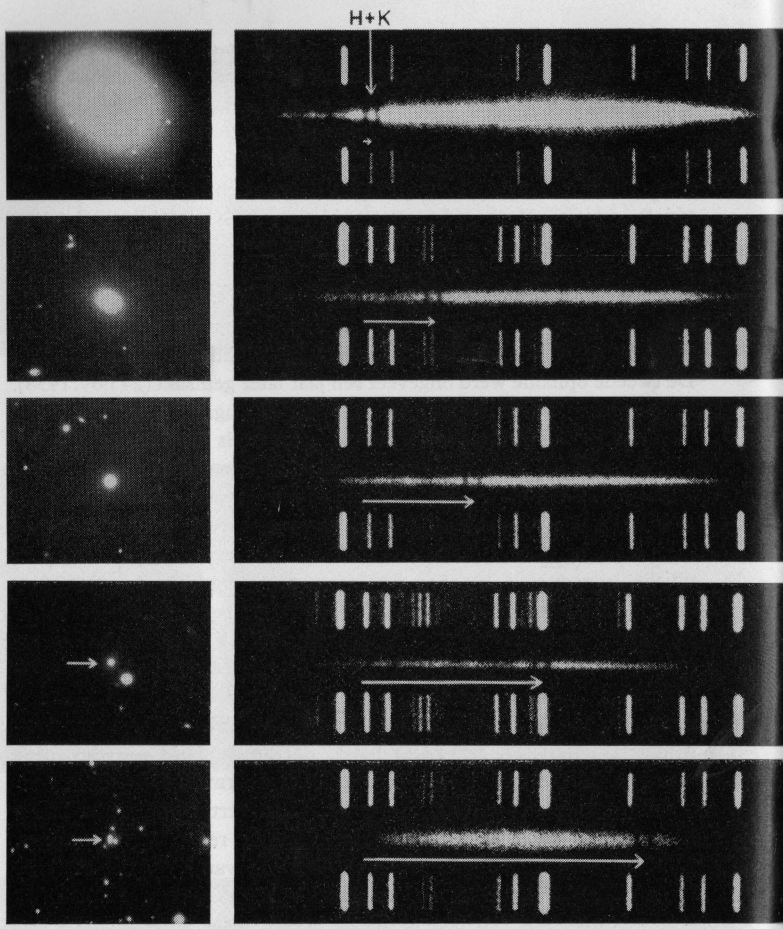
Extra-galactische stelsels is de naam die men aan heelaleilanden zoals onze melkweg gegeven heeft. De amateur met een bescheiden kijker kan er ongeveer een honderd zien. Maar om zelfs in de dichtstbijzijnde enig detail waar te nemen is reeds een zeer grote kijker nodig. Wie echter zijn kijker combineert met een camera, kan niet alleen veel meer extra-galactische stelsels fotograferen, maar zal van de grootste zelfs de spiraalstructuur op de gevoelige plaat krijgen.
Van de hiernaast afgebeelde stelsels is alleen die links onderaan niet in een kleine kijker zichtbaar.
De eerste, die een catalogus van zwakke nevelachtige objecten publiceerde was de Franse astronoom Messier. Van 1771 tot 1784 publiceerde hij een lijst van 103 van zulke objecten. Niet omdat hij ze zo belangrijk vond, maar omdat ze steeds vergissingen opleverden bij het zoeken naar zwakke kometen, die er door de kijker precies eender uitzien. In 1888 gaf Dreyer een meer volledige catalogus uit waarin bijna 8000 nevelachtige objecten beschreven worden. Zijn catalogus (New General Catalogue, afgekort NGC) bevat ook de Messierobjecten. Zo komt het, dat verschillende extra-galactische stelsels op twee verschillende manieren worden aangeduid. De Andromedanevel bv, wordt aangeduid als M 31 en ook als NGC 224. Een latere aanvulling van de NGC (met 5000 nieuwe objecten) is de Index Catalogue, zodat er ook extra-galacties zijn die met IC en een getal worden aangeduid. Men zou hieruit kunnen concluderen dat er dan ca. 13.000 extra-galactische stelsels bekend zijn; een werkelijk respectabel aantal. Nu zijn van de ene kant niet al deze gecatalogiseerde objecten extra-galactische stelsels; er zijn ook lichte en donkere nevels van onze eigen melkweg bij. Maar van de andere kant zijn lang niet alle ooit gefotografeerde extra-galactische stelsels in de catalogi opgenomen. Met de grote Schmidt-camera op de Mount Palomar heeft men op bijna 1.800 opnamen dat gedeelte van de hemel opgenomen dat in Californië zichtbaar is. Elke plaat meet $7^\circ \times 7^\circ$. En op sommige platen telt men meer dan 50.000 extra-galactische stelsels! Nu moogt u dit ook weer niet met 1800 vermenigvuldigen om te weten hoeveel heelaleilanden er zijn, want op sommige platen staan er veel minder. Maar van de andere kant moet u bedenken, dat deze opnamen lang niet alle extra-galacties tonen. Er is nu eenmaal een grens aan het lichtvergarend vermogen van de Schmidt-camera van de Mount Palomar. Met de Hale-telescoop van de Mount Palomar (die een veel kleiner gezichtsveld heeft) heeft men extra-galactische stelsels gefotografeerd op plaatsen waar de Schmidt-camera niets toonde.



En ook de Hale-telescoop die al bijna 15 jaar de grootste telescoop ter wereld is, kan niet doordringen tot de grens van het heelal. Met radiotelescopen kunnen wij objecten waarnemen, die veel verder weg liggen en zo lichtzwak zijn, dat we ze niet meer kunnen fotograferen. De op pag. 26 afgebeelde stelsels zijn nog zo betrekkelijk dichtbij, dat we ze rijk gestructureerd zien. Van links naar rechts zijn het: NGC 628 (M 74); NGC 1300; NGC 3031 (M 81); NGC 2841; NGC 7073; NGC 488.

Een supernova in IC 4182. De pijl geeft een ster aan die helderder straalt dan tien miljoen zonnen! De opname werd gemaakt op 23 augustus 1937 met de Hookertelescoop; belichtingstijd 20 minuten. De tweede opname werd ongeveer een jaar later gemaakt (24 nov. 1938). Bij een meer dan twee maal zo lange belichtingstijd is dezelfde ster nu niet erg opvallend meer. De laatste opname is van 19 januari 1942. Zelfs bij een belichtingstijd van 85 minuten, waarbij het extra-galactische stelsel al zichtbaar wordt, is van de supernova geen spoor meer te bekennen. De verschijning van een supernova in een extra-galactisch stelsel waarin wij geen Cepheïden kunnen fotograferen is een unieke gelegenheid om een bruikbare schatting van de afstand te maken.

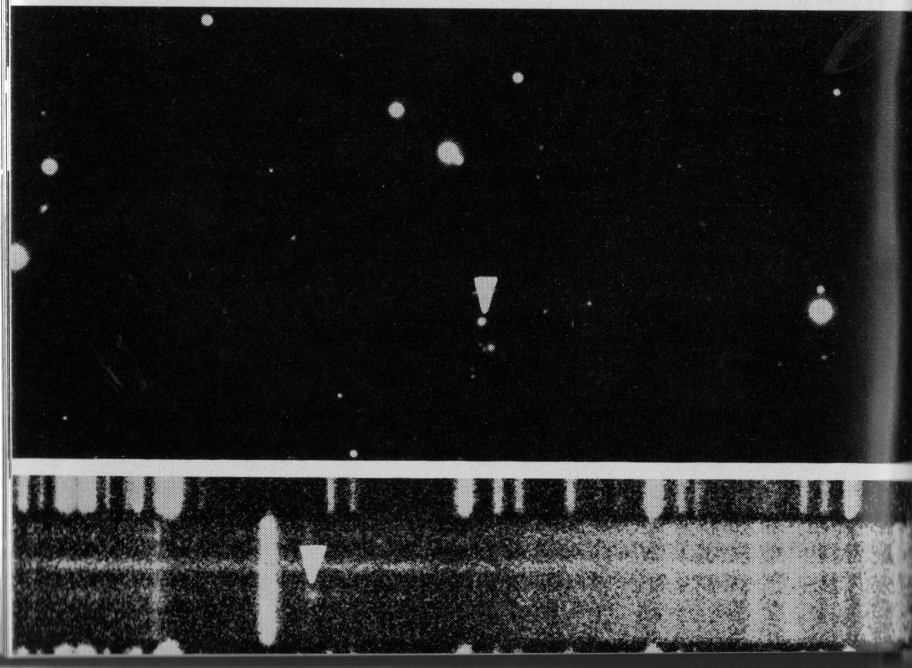
Bij het fotograferen van spectra van extra-galactische stelsels deed de Amerikaanse astronoom Slipher de ontdekking dat duidelijk herkenbare absorptielijnen verschoven waren naar de rode kant van het spectrum. Dit zou erop duiden, dat deze stelsels zich van ons verwijderen (dopplereffect). Later bleek, dat de snelheid waarmee deze stelsels zich van ons af bewegen groter is naarmate hun afstand tot ons groter is. De afbeelding op pag. 30 illustreert dit duidelijk. Links is het extra-galactische stelsel afgebeeld en rechts het spectrum, waarin duidelijk de toenemende verplaatsing van de absorptielijnen H en K zichtbaar is. Deze 'roodverschuiving' toont niet alleen het merkwaardige feit van een uitdijend heelal, maar geeft ons ook een nieuw middel om de afstand van deze stelsels te bepalen.

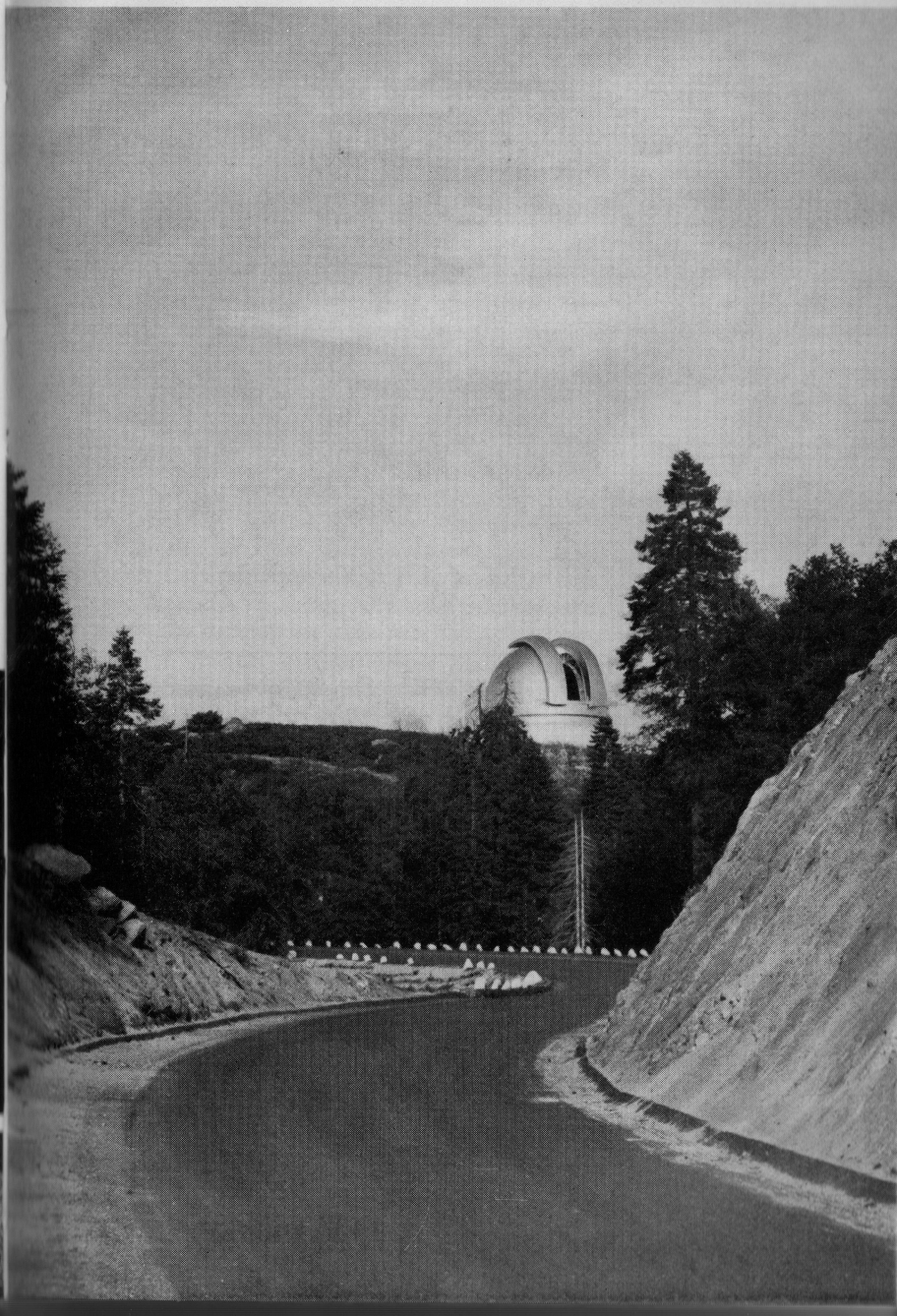


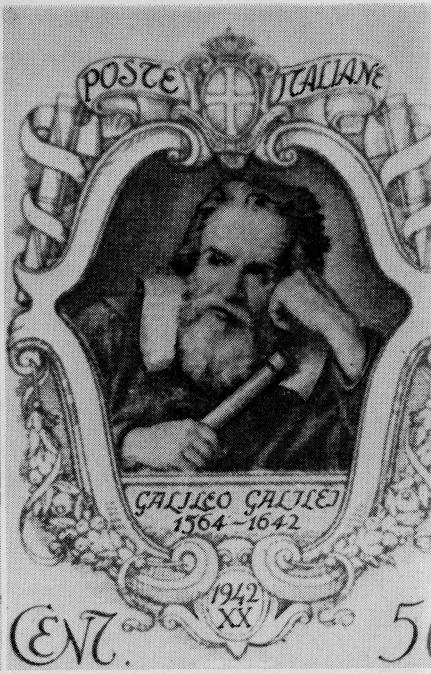
Meer melkwegen dan sterren. Hiernaast is een opeenhoping van extra-galactische stelsels in het sterrenbeeld Hercules gereproduceerd. De originele opname (met de Hale-telescoop) toont meer extra-galactische stelsels dan voorgrondsterren van onze eigen melkweg: alleen de scherp begrensde zuiver ronde vlekjes zijn sterren. Geen enkel van de hier afgebeelde hemellichamen is met het ongewapende oog te zien, ja zelfs door de grootste kijker ziet men nauwelijks een flauwe aanduiding dat hier de hemel niet totaal donker is. Dit toont wel wat voor een machtig hulpmiddel de fotografie hier is. Ze maakt het totaal onzichtbare zichtbaar.

Aan de grens van het waarneembare heelal. Het pijltje in de bovenste opname wijst naar het object 3C295. Het is een vrij sterke bron van radiostraling en trok als zodanig in 1959 voor het eerst de aandacht van de astronomen. De opname met de Hale telescoop toonde dat dit object deel uitmaakte van een groep zwakke extra-galactische nevels. Zekerheid over de afstand kon men pas krijgen nadat het spectrum (onderste figuur) ervan was opgenomen. Boven en onder het spectrum zien we het vergelijkingsspectrum. De heldere lijnen in het spectrum zelf worden veroorzaakt door het licht dat een perfect donkere nachthemel nog uitstraalt!
Het pijltje wijst een helder deel van het spectrum van het onderzochte object aan. Het gaat dus om dit kleine vlekje. Een tweede opname toonde dit vlekje eveneens, en men wist dat dit vlekje eigenlijk in het ultra-violette deel van het spectrum moest liggen; het ligt in het groen en deze verschuiving wees op een verwijderingssnelheid van 150.000 km per seconde, wat weer duidt op een afstand van ca. 6 miljard lichtjaren. Ondertussen is 3C295 al weer onttroond als verst waargenomen melkweg. De radiobron 3C9 blijkt nog veel verder van ons verwijderd te zijn.

De Highway to the stars. Op de top van de Mount Palomar staat de sterrenwacht waarin de Hale-telescoop is ondergebracht. Met deze telescoop, tot op heden de grootste ter wereld, zijn veel van de ontdekkingen gedaan waaruit onze kennis van de bouw van het heelal is gegroeid.







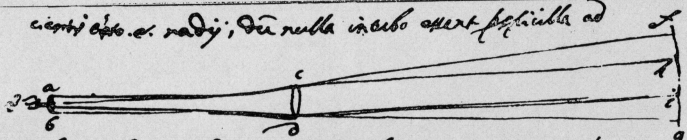
Anno 1590: Is de eerste Luyse gemaeckt en ge Inventeert binnes middelburgh in Zeelan van Zacharias Janses

In middelburgh den 30 Januarij 1655: V.Z.: H.: onderdaenen

Dienaer
Johannis Sacharias

Johannes Sacharias seyght dat sy vader dy wesen verrekycker maeckte gaer te [illegible] leeder anno 1604 maer wene van ons Italiaen daer op stont anno 1590.

cientis [illegible] e. radij, dum nulla in tubo essent perspicilla ad



obiectum fg. sm lineas eef. edg. ferrent. sed appositis perspicillis ferant ut ech. edi. coarctant n. et qui prius liberi ad fg. obiectum extendebant, parte tm hi. comprehendent; accepta

Hoofdstuk 3 Roman van de sterrenkijker

1 De waarheid tussen verwarde berichten

In de laatste helft van de 16e eeuw experimenteerden verschillende mensen die lenzen in hun bezit hadden met combinaties hiervan. Waarschijnlijk waren er die bewust zochten naar een *verre*-kijker. Zij hadden het volgende vage idee van de werking van holle en bolle lenzen: een bolle lens, voor het oog gehouden, maakt de dingen in de verte groter *en* vager. Een holle lens maakt de dingen kleiner *en* scherper. Het ligt voor de hand dat men met een bolle lens wil vergroten, maar de onscherpte wil corrigeren met een holle lens, terwijl er toch nog iets van het vergrotend vermogen van de bolle lens behouden blijft. Hier en daar had men werkelijk enig succes: een heel klein beeldveldje, waarin het mistig grijs was en de vage contouren te herkennen waren van het bekende voorwerp in de verte.... maar onmiskenbaar vergroot! Het resultaat was juist te gering om te zeggen dat het een gelukte combinatie was. Niemand kwam op het idee overal bekend te maken, dat hij een instrument had uitgevonden, waarmee men verre voorwerpen dichtbij kon halen. Dit zou verklaren dat de zgn. Hollandse verrekijker er al was zonder dat er iemand aanspraken maakte op de titel van uitvinder.

In 1604 ontmoet de brillenslijper Zacharias Janssen, wonende te Middelburg, een Italiaan (niet vreemd in een stad waarin een Italiaans garnizoen lag, en waar Italianen in de glasfabrieken werkten) die een buis heeft met voorin een bolle lens en achter een holle. Op de buis staat: anno 1590. Janssen is een bekwaam slijper van brilleglazen, en het is waarschijnlijk niet eens nodig geweest, dat hij de kijker mee naar huis nam om hem te kunnen kopiëren. Maar er is meer: hij beschikt over goede lenzen, hij kan desnoods nieuwe slijpen, beter voor het doel geschikt en hij heeft fantasie en ondernemingslust.

Boven: Zacharias Jansen en Galileo Galileï. Daaronder: een deel uit de valse getuigenis van de zoon van Zacharias Jansen. Dan volgen de twee beroemde regeltjes uit het dagboek van Isaac Beekman, die het geheim van de uitvinding van de verrekijker ontsluieren. Onder: de weinig zeggende uitleg van de werking der verrekijker in het handschrift van Galileï.

Is het verwonderlijk, dat hij in korte tijd een beter functionerende kijker heeft, dan het voorbeeld waarnaar hij hem maakte? En is het verwonderlijk. dat het niet in het hoofd van Zacharias Janssen opkwam, dat hij de verrekijker uitgevonden zou hebben?
Janssen was niet alleen brillenmaker, maar ook reizend handelaar: marskramer. Hij nam behalve zijn brillen ook zijn kijkers mee naar de jaarmarkten die hij bezocht. Zo is hij in de nazomer van 1608 op de drukbezochte Frankfurter Messe, die tussen 15 augustus en 8 september gehouden werd.
In Middelburg woont niet ver van Janssen nog een tweede brillenmaker: Hans Lipperhey. In de zomer van 1608 komt een zekere Jacob Metius uit Alkmaar naar Middelburg, omdat hij gehoord heeft dat daar iemand een instrument heeft om 'verre te kijken'.
Hij komt bij Lipperhey terecht; Janssen is immers op de Frankfurter Messe. Lipperhey weet natuurlijk van de verrekijkers die zijn collega al vier jaren lang maakt, en hij heeft er zelf waarschijnlijk ook al gemaakt. Maar het bezoek van Metius doet hem plotseling inzien, dat er grote commerciële mogelijkheden in het instrument zitten. 25 september 1608 richt Lipperhey een verzoek aan Gecommitteerde Raden van Zeeland om een aanbevelingsbrief voor de Staten Generaal. Van 2 tot 6 oktober is Lipperhey in Den Haag om octrooi op 'zijn uitvinding' te krijgen. Hij geeft een demonstratie voor Prins Maurits op de toren van diens hoofdkwartier. Octrooi krijgt hij nog niet, wel de opdracht om zes van zulke instrumenten voor het leger te maken (hij vraagt 1000 gulden per stuk).
Kort na deze demonstratie komt een tweede man om octrooi op de uitvinding van de verrekijker te vragen: Jacob Metius uit Alkmaar. 12 oktober 1608 is Zacharias Janssen weer thuis. Hij wordt bij de Gecommitteerde Raden van Zeeland ontboden, n.a.v. het verzoek van Lipperhey. Men weet immers dat hij ook zulke kijkers maakte en verkocht. Hij komt meteen en brengt zelfs een verrekijker mee. Als dit aan de Staten Generaal bekend wordt gemaakt, wordt geen octrooi meer gegeven: Janssen had immers klaarblijkelijk een verrekijker vóór Lipperhey en Metius, en Janssen vroeg helemaal geen octrooi aan. De verrekijker is vooral door de demonstratie op het hoofdkwartier van Prins Maurits in binnen- en buitenland goed bekend geworden en hij vindt zijn weg.
Galileï bewijst in 1610 op grandioze wijze wat dit instrument voor de astronomie kan betekenen.
Er is nog wat geschrijf hier en daar van geleerden die beweren de

verrekijker al lang uitgevonden te hebben maar na een jaar of 20 wordt er niet meer over gesproken wie de eigenlijke uitvinder is.
Isaac Beeckman, een geleerde met een veelzijdige belangstelling, wil lenzen leren slijpen en komt in Middelburg terecht bij de zoon van Janssen: Johannes Sachariassen. Hij leert van hem de edele kunst. Na elk bezoek aan Sachariassen tekent Beeckman in een dagboek aan wat hij allemaal gezien, gehoord en geleerd heeft van Sachariassen. Zij hebben het ook over de uitvinding van de verrekijker. In een aantekening van 1634 staat: "*Johannes Sacharias seght, dat syn vader den eersten verrekycker maeckte hier te lande anno 1604, naer eene van eenen Italiaen, daerop stont: anno 1590*".
Dit is de belangrijkste getuigenis over de uitvinding van de verrekijker die wij hebben, en ze is aan het licht gebracht door C. de Waard die de dagboeken van Beeckman heeft uitgegeven.
Het is jammer dat deze getuigenis een schoonheidsfoutje heeft. In de tekst staat nl. niet anno 1590, maar anno 190, waarbij in het handschrift duidelijk te zien is, dat de pen bij de 1 leeg was. Maar het is wel heel moeilijk er iets zinnigs van te maken, als men geen 1590 wil lezen.
In het midden der zeventiende eeuw gaat Pierre Borel, de lijfarts van Lodewijk XIV zich interesseren voor de geschiedenis van de verrekijker en hij laat in Middelburg een onderzoek instellen. Er komen drie getuigen om te verklaren dat Lipperhey de uitvinder geweest is. Joannes Sachariassen hoort van het onderzoek en hij schrijft in 1655 aan het stadsbestuur de volgende getuigenis.
"Anno 1590 is de eerste buyse gemaekct en geinventeert binnen Middelburgh in Zeelant van Zacharias Janssen....."
Pierre Borel trekt hieruit de conclusie die wij vinden in zijn boek: 'De vere telescopii inventore", hij geeft een portret van Zacharias Janssen met als onderschrift: eerste uitvinder van de verrekijker en een portret van Lipperhey: tweede uitvinder der verrekijker.
En zo is de uitvinding der verrekijker de geschiedenis der natuurwetenschappen ingegaan. Wie zonder meer het oordeel van Borel overnam noemt Janssen als de uitvinder, wie geïmponeerd werd door de demonstratie van Lipperhey op het stadhouderlijk kwartier geeft de eer aan Lipperhey.

2 In het voetspoor van Galileï

Maart 1610 verscheen in Venetië een klein boekje: *De sterrenbode*. Het was geschreven door de toen 46-jarige wis- en natuurkundige

Galileo Galileï. Galileï beschrijft hierin astronomische ontdekkingen die hij met zijn kijker gedaan heeft, ontdekkingen die in zijn tijd ongehoord waren: Jupiter is een hemellichaam waaromheen vier kleine maantjes cirkelen; de maan is geen gladde bol, maar heeft bergen net als op de aarde, er zijn ongelofelijk veel meer sterren dan die men van ouds met het ongewapende oog had waargenomen, de melkweg bestaat uit sterren, verschillende nevelachtige vlekjes aan het firmament bestaan eveneens uit sterren. Later ontdekte Galileï nog de schijngestalten van Venus, de eigenaardige vorm van de planeet Saturnus en ook dat de planeet Mars schijngestalten vertoont. Of hij de eerste is geweest die zonnevlekken heeft gezien is niet uit te maken. In zijn *sterrenbode* geeft Galileï voor, dat hij na het bericht over het bestaan van de Hollandse kijker zelf het principe vond en daarna zijn eerste kijkertje bouwde. Het is echter meer dan waarschijnlijk, dat Galileï een nauwkeurige beschrijving van het instrument heeft gehad vóór hij er een maakte en zelfs is het niet onwaarschijnlijk, dat hij eerst een Hollandse kijker gezien heeft.

U bent misschien nieuwsgierig naar de kwaliteit van Galileï's kijkertjes. Van een van de beste volgt hier een beschrijving in onze tijd gegeven door Prof. Ronchi en Prof. Abetti, die enige van Galileï's kijkertjes nauwkeurig onderzocht hebben: De kijkerbuis is van karton, bekleed met donkerrood leer met goudopdruk.

Het objectief heeft een brandpuntsafstand van 95,6 cm en een middellijn van 3,7 cm. De effectieve middellijn is door een diafragma gebracht op slechts 1,6 cm.

Het glas is van niet al te beste kwaliteit en is groengekleurd. Het oculair heeft een brandpuntsafstand van —4,9 cm; middellijn 2,2 cm, gediafragmeerd tot 1,6 cm. Beide lenzen zijn ca. 2 mm dik. De hele kijker is 97 cm lang en vergroot 20 maal. Het veld is slechts 15′ en het oplossend vermogen 10″.

Met zo een primitief instrument heeft Galileï zijn grote ontdekkingen gedaan. U kunt zijn voetstappen volgen en voor weinig geld een kijkertje maken, dat zeker zo goed is als dat van Galileï. Probeert u een plat positief brilleglas te krijgen met een brandpuntsafstand van ca. 100 cm (de diep doorgebogen moderne brilleglazen zijn veel minder bruikbaar door hun grote sferische aberratie (zie hoofdstuk 14, pag. 249). Bevestig dit voor in een kartonnen koker van 100 cm lang.

Achter in deze koker maakt u een kokertje van ca. 10 cm dat in de grote schuiven kan. In dat kleine kokertje wordt een positief lensje met een brandpuntsafstand van 4 à 5 cm bevestigd en de kijker is,

op een heel belangrijk ding na, klaar.*) Dit hele belangrijke is: u moet op het brilleglas een diafragma plakken (van zwart papier) met een middellijn van 17 à 20 mm. Anders is de afbeelding onscherp door chromatische aberratie (zie hoofdstuk 14, pag. 253).
Uw kijkertje heeft nu een groter gezichtsveld (door het gebruik van een positieve lens als oculair) en een beter scheidend vermogen, dan de beroemde kijkertjes van Galileï. En vóór u zo'n kijkertje gebouwd en intensief gebruikt hebt, moet u niet verlangen naar grotere en betere kijkers.

3 De wedloop: lenzenkijker contra spiegelkijker

In het lijstje op pag. 254 kunt u zien, dat de enkelvoudige lens als kijkerobjectief bij de middellijn van 10 cm al een brandpuntsafstand van 36 m moet hebben. Tot ca 1700 heeft men inderdaad deze weg bewandeld. Fig. 1 geeft een indruk van zo'n kijker. Hij was van pater Gottignes in Rome (1670). En met deze onhandelbare kijkers (ook Huygens heeft er verschillende vervaardigd) heeft men nog belangrijke ontdekkingen gedaan.
In 1668 geeft Newton voor het eerst een bruikbare opstelling om de holle spiegel als telescoopobjectief te gebruiken. Zijn eerste model (fig. 3) heeft een metaalspiegeltje met een middellijn van 3,6 cm en een brandpuntsafstand van 15 cm. Het licht werd door een vlak spiegeltje naar buiten geworpen door een oculair met een brandpuntsafstand van 4 mm.
Enige jaren later (1672) geeft Cassegrain een tweede manier aan waarop de holle spiegel als telescoopobjectief te gebruiken is: een holle (parabolische) hoofdspiegel werpt het licht op een bolle (hyperbolische) vangspiegel, die het door een gat in de hoofdspiegel naar het oculair kaatst.
Het leek alsof de lenzenkijkers nu geheel hadden afgedaan: de spiegel was vrij van chromatische aberratie en alleen het materiaal (de spiegels waren van metaal!) stelde grenzen aan de grootte van het objectief.
In 1729 echter vindt Chester Moor Hall het achromatische objectief uit: het bestaat uit twee lenzen: een positieve en een negatieve, die elkaars kleurschifting opheffen (zie pag. 255). In 1758 krijgt John Dollond patent op het achromatische objectief en komt de lenzenkijker weer in zwang. Fraunhofer in Duitsland luidt een grote bloei

---

*) *Het oog moet enige centimeters achter het oculair gehouden worden om het hele beeldveld te zien.*

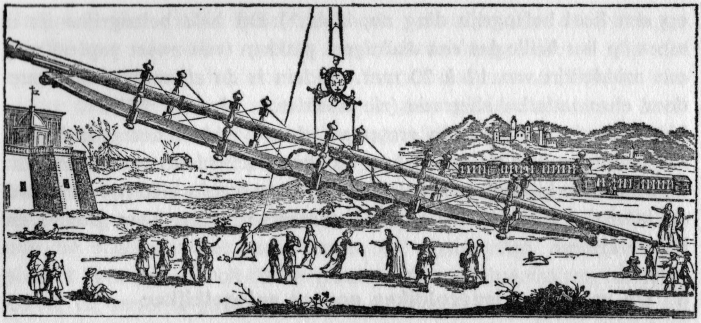


Fig. 1

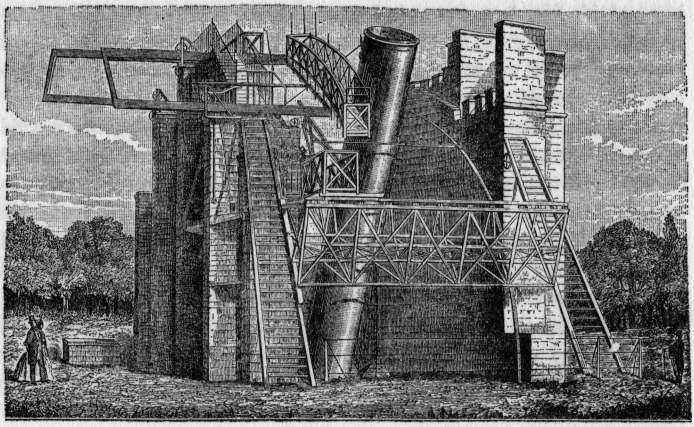


Fig. 2

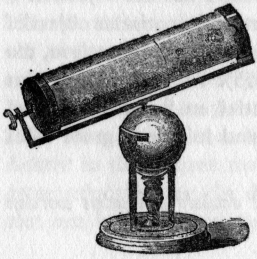


Fig. 3

in van de lenzenkijker: hij zorgde voor betere glasfabricage en verving de methode van proberen bij het vervaardigen der objectieven door zorgvuldige metingen en berekeningen (± 1800). Het grootste door Fraunhofer vervaardigde achromatische objectief had een middellijn van 25 cm en een brandpuntsafstand van 430 cm. Toch bleef men doorgaan met het bouwen van steeds grotere Newtontelescopen. Herschell's grootste metaalspiegel had een middellijn van 122 cm en een brandpuntsafstand van 12 m (1787). De grootste metalen spiegel was die van graaf Rosse (zie fig. 2) met een diameter van 182 cm en een brandpuntsafstand van 16 m! (1845).
Het gieten, slijpen en polijsten van deze enorm zware metaalspiegels bracht grote moeilijkheden mee, en ook de montering stelde een limiet aan de bruikbaarheid van deze telescopen.
Men had toch meer vertrouwen in het achromatische objectief. In 1897 kreeg het Yerkesobservatorium in de USA het grootste ooit vervaardigde achromatische objectief (ϕ 102 cm f 19,7 m). Grotere objectieven waren door de doorbuiging van het glas niet mogelijk. Er waren echter op het gebied van de spiegeltelescopen twee grote uitvindingen gedaan: in 1833 vindt Liebig een methode om een glazen spiegel te verzilveren. En in 1858 publiceert Foucault zijn zgn. mesproef, waarmee men de vorm van de spiegel kan controleren voordat deze in een kijker is gemonteerd (zie hoofdstuk 8). Nu kon men veel lichtere telescoopspiegels slijpen en moest men niet door eindeloos proberen komen tot de vereiste paraboolvorm.
In 1918 kwam de beroemde telescoop op de Mount Wilson klaar, die een spiegel had met een middellijn van 2,5 m. Met de telescoop op de Mount Palomar (spiegelmiddellijn 5 m) die in 1948 gereed kwam, had men ook wel de grensgrootte van de glazen telescoopspiegel bereikt. (Zie foto blz. 51)

4 Nieuwe telescooptypen

Er worden nog steeds Newton-telescopen, Cassegrain-telescopen en lenzenkijkers gebouwd. In de twintigste eeuw zijn er enige nieuwe telescooptypen bijgekomen. De Schmidt-camera, is zoals het woord zegt een camera (1930). De hoofdspiegel is hol en sferisch en heeft een vrij grote openingsverhouding. De sterke sferische aberratie wordt over een groot veld opgeheven door een corrector van zeer bepaalde vorm die voor de spiegel is aangebracht.
Als lichtsterke astrocamera heeft de Schmidt-camera (vooral de zgn. Big-S op de Mount Palomar, die een spiegelmiddellijn van

120 cm heeft) veel bijgedragen tot onze kennis van het heelal.
Een andere oplossing om bij een sferische hoofdspiegel met grote openingsverhouding de sferische aberratie op te heffen gaf de Nederlander A. Bouwers in 1940. Hij plaatste voor de hoofdspiegel een diep doorgebogen lens van geringe sterkte (een meniscus). Dit zgn. meniscus-spiegelsysteem kan ook gemakkelijk voor visuele waarnemingen gebouwd worden.
Later dan Bouwers vond ook de Rus Maksutov deze oplossing. Door de oorlogsomstandigheden kreeg de publicatie van Maksutov eerder algemene bekendheid dan het patent dat Bouwers in 1940 aangevraagd had. Daarom worden meniscus-spiegeltelescopen meestal Maksutov-telescopen genoemd.
Een Schmidt-camera is voor een amateur zeer moeilijk te maken. Aan een spiegelmeniscussysteem moet zich ook alleen de geroutineerde spiegelslijper wagen. Vooral de diep doorgebogen corrector stelt hoge eisen aan de precisie.
Het volgende telescooptype, naar de uitvinder Ir. Kutter, de Kutter-telescoop genoemd, is echter een uitvinding die als het ware voor de amateur spiegelslijper en kijkerbouwer gedaan is. De lichtstralen vallen op een holle sferische hoofdspiegel en worden teruggekaatst naar een bolle sferische vangspiegel, die geen binnenvallende stralen onderschept. Deze scheve stralengang (vandaar de Duitse naam Schiefspiegler voor dit telescooptype) brengt de grove beeldfouten: coma en astigmatisme met zich mee.
Deze beeldfouten worden echter door een bepaalde stand van de vangspiegel geheel opgeheven. De theorie van de „scheve stralengang" werd door Kutter tussen 1936 en 1940 uitgewerkt. Door de eenvoudige lichte constructie van de Kutter-telescoop, en de zeer eenvoudig te testen sferische spiegels, zal de Kutter-telescoop misschien de Newton-telescoop als instrument voor de amateur-zelfbouwer gaan vervangen.

5 Telescoopparade

We zullen nu de voornaamste telescooptypen met hun voor en nadelen bespreken.
De figuren in deze paragraaf zijn niet op dezelfde schaal getekend. De dimensies (die zo belangrijk zijn in het beoordelen van de verplaatsbaarheid, de zwaarte van de nodige montering etc.) spreken echter duidelijk in figuur 10 aan het slot van deze paragraaf, waar alle telescopen op dezelfde schaal zijn weergegeven.

De Refractor (Lenzenkijker). Het objectief is een achromatisch lenzenpaar. Bij kleine objectiefmiddellijnen is het secundaire spectrum *) zo klein, dat het de kwaliteit van het beeld niet beïnvloedt. De nog veel duurdere apochromaten hebben deze afbeeldingsfout praktisch niet. De openingsverhouding is ca. 1 : 15. Daardoor wordt de kijker vrij lang in vergelijking met andere typen. Het slijpen van een achromatisch lenzenpaar is zeker niet het werk van de beginnende amateurslijper.
De kijker is geheel gesloten. (Zie figuur 10 bovenaan).

De Newton-telescoop. Alle verdere typen zijn spiegelkijkers: het objectief is een holle spiegel.
Alle spiegeltelescopen zijn perfect achromatisch. Bij de Newton-telescoop moet de holle spiegel parabolisch zijn, hetgeen een specifieke moeilijkheid bij het polijsten vormt.
Toch is de spiegel veel goedkoper dan een achromatisch lenzenpaar, omdat bij de spiegel maar één oppervlak bewerkt hoeft te worden (bij het refractor-objectief minstens 4) en het glas geen optisch glas behoeft te zijn.
De openingsverhouding is meestal 1 : 8 zodat de kijker veel korter is dan een lenzenkijker van gelijke objectiefmiddellijn.
Een nadeel is, dat een prisma of vlakke spiegel gebruikt moet worden om het beeld buiten de invallende stralen te brengen.
Het ophangen van dit prisma of vlakke spiegel is een aparte moeilijkheid.
Het theoretisch scheidend vermogen wordt nooit bereikt als gevolg van buigingseffecten die het prisma of de spiegel oproept **). Men kan in het algemeen stellen, dat een Newton-telescoop qua scheidend vermogen minder presteert als een even grote (objectiefmiddellijn) lenzenkijker.
De kijker is open. De brandpuntsafstand is kleiner dan bij een lenzenkijker met even grote objectiefdoorsnede.
Door de eenvoud van zijn bouw was de Newton-telescoop tot voor kort hèt instrument voor de zelfbouwende amateur.

De Cassegrain-telescoop. Het objectief bestaat uit een doorboorde parabolische spiegel met een openingsverhouding van ± 1 : 5.

---

*) *Zie hoofdstuk 14*
**) *Zie blz. 95*

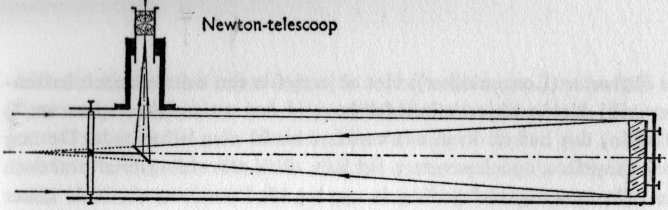


Fig. 4

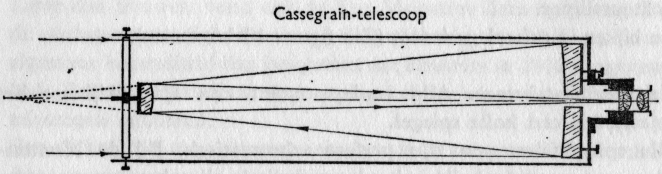


Fig. 5

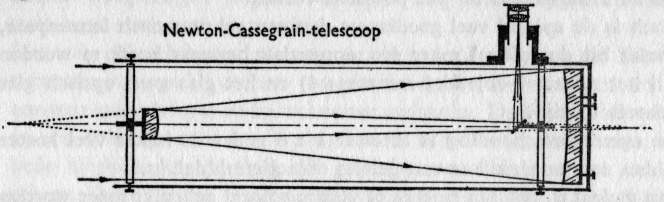


Fig. 6

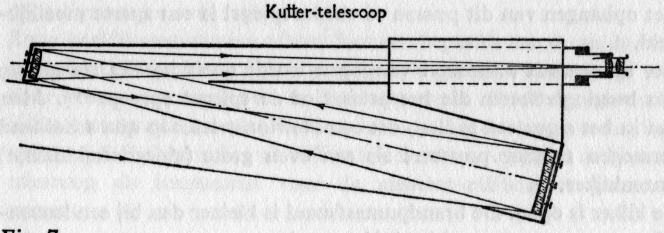


Fig. 7

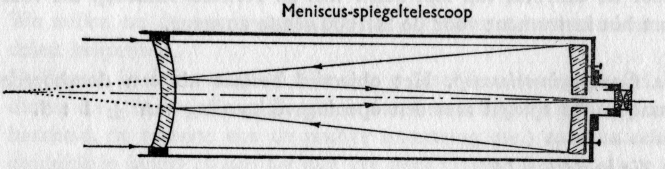


Fig. 8

Deze kaatst het licht naar een bolle (hyperbolische) spiegel, vanwaar het teruggekaatst wordt door de opening in de holle spiegel.
Deze kijker is zeer kort, omdat de stralengang a.h.w. opgevouwen is. De brandpuntsafstand van het hele stelsel is daarbij zelfs langer dan bij een lenzenkijker met gelijke objectiefmiddellijn.
Door de compacte constructie is het een ideale telescoop.
Het oplossend vermogen is echter kleiner dan dat van de Newton-telescoop *).
Het testen en corrigeren van de hyperbolische spiegel en van de gehele combinatie is ook niet het werk voor de beginnende amateur**).

De Newton-Cassegrain-telescoop. Heeft geen doorboorde hoofdspiegel. D.m.v. een prisma of vlakke spiegel wordt het beeld zijdelings naar buiten gekaatst.

De Kutter-telescoop. We kunnen de Kutter-telescoop beschouwen als een Cassegrain-telescoop, waarvan de assen der spiegels een hoek met elkaar maken.
De daardoor optredende scheve bundels lijden sterk aan astigmatisme en coma en het systeem zou volkomen onbruikbaar zijn als niet door een bepaalde stand van de assen der spiegels t.o.v. elkaar deze beeldfouten opgeheven konden worden.
De Kutter-telescoop is iets langer dan de Newton-telescoop, maar veel lichter van bouw omdat de kijkerbuis slechts de helft van de middellijn van het objectief heeft.
De brandpuntsafstand is meer dan 2 × zo groot als bij de lenzenkijker met dezelfde objectiefmiddellijn.
De beide spiegels kunnen tot objectiefmiddellijnen van 15 cm volkomen sferisch zijn, zodat het zelf slijpen en polijsten nog minder moeilijkheden geeft dan bij de Newton-telescoop.
Het belangrijkste voordeel boven alle andere spiegel-telescopen is, dat het theoretisch scheidend vermogen gemakkelijk gehaald wordt. Bij grotere objectiefmiddellijnen is nog een plat-bolle correctielens nodig.
De Kutter-telescoop is een ideaal instrument voor zelfbouwers.

---

*) *Zie het volgende hoofdstuk en hoofdstuk 6.*

**) *De zgn. Gregory-telescoop heeft als 2e spiegel een holle spiegel. Ze is 30% langer dan de Cassegrain en werd vroeger nogal eens gebouwd als aardse kijker, omdat ze een rechtopstaand beeld geeft.*

De meniscus-spiegeltelescoop. De hoofdspiegel is een sferische holle spiegel. De sferische aberratie daarvan wordt opgeheven door een diep doorgebogen lens van geringe sterkte, een zgn. meniscus-lens.
Ofschoon oorspronkelijk bedoeld als lichtsterk fotografisch objectief wordt het visueel in een opbouw die veel lijkt op de Cassegrain-telescoop gebruikt. (Een deel van de meniscus wordt verzilverd en dient als bolle spiegel).
Het heeft alle voordelen van de Cassegrain-telescoop en bovendien zijn alle oppervlakken sferisch.
De kijker is geheel gesloten.
Tot slot nog iets over: *Prismakijkers en Elbow-telescopen.* Dit zijn lenzenkijkers en als zodanig zijn ze al behandeld.
Ze wijken echter af door hun korte bouwlengte, die bereikt wordt door een objectief met een grote openingsverhouding te nemen (f/4) en de lichtweg op te vouwen.
Dit laatste wordt bereikt door een prisma-stelsel, dat er tevens voor zorgt dat het beeld rechtop staat.
Het is natuurlijk aantrekkelijk 'n prismakijker aan te schaffen, als die zowel voor aardse als voor astronomische waarnemingen gebruikt kan worden.
Men moet er echter wel rekening mee houden dat prisma-kijkers en elbow-telescopen maximaal 10 à 20 maal vergroten.
Aan de bespreking van de voor de amateur in aanmerking komende typen kunnen we de volgende eindconclusie verbinden:
De Kutter-telescoop is om zijn superieure optische kwaliteiten, zijn gemakkelijk zelf te vervaardigen optiek en zijn lichte constructie hèt instrument voor zelfbouw.
Wil men echter een heel compact instrument, dan moet men ook rekenen met een veel groter aantal arbeidsuren, hogere kosten en men moet ook al de nodige ervaring hebben op het gebied van slijpen, polijsten en testen.
Een Maksutov-telescoop ligt dan nog wel binnen het bereik van een amateur. De Newton-telescoop, die enige eeuwen het eenvoudigste (en geliefdste) instrument voor de amateurbouwer is geweest, zal wegens zijn groter gewicht, de moeilijkheid van het paraboliseren, het nodig zijn van 'n prisma of vlakke spiegel en de moeilijkheden van de ophanging daarvan en om zijn mindere optische kwaliteit misschien van zijn eerste plaats worden verdrongen.

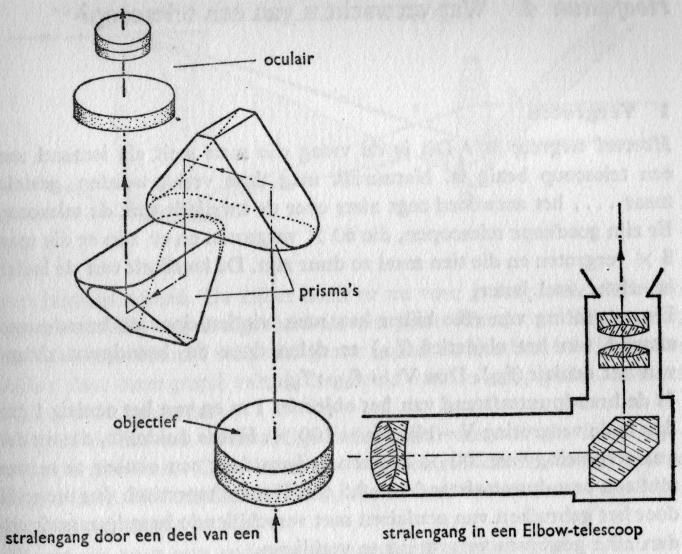

oculair
prisma's
objectief
stralengang door een deel van een prismabinoculair
stralengang in een Elbow-telescoop

Fig. 9

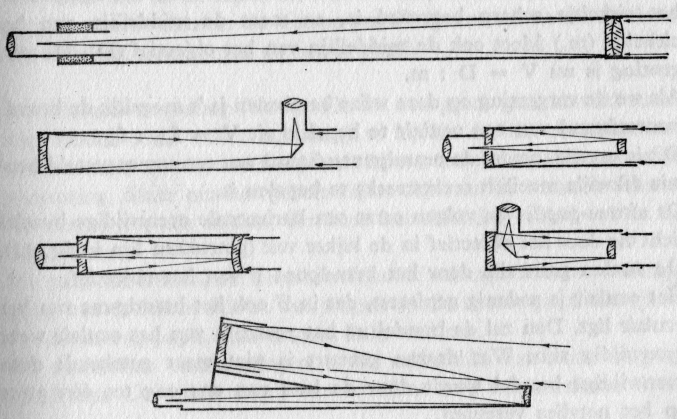


Fig. 10

Hoofdstuk 4 Wat verwacht u van een telescoop?

1 Vergroten

Hoeveel vergroot hij? Dit is de vraag die men stelt als iemand met een telescoop bezig is. Natuurlijk mag deze vraag worden gesteld, maar .... het antwoord zegt niets over de kwaliteit van de telescoop. Er zijn goedkope telescopen, die 60 × vergroten en er zijn er die maar 8 × vergroten en die tien maal zo duur zijn. De kwaliteit van de laatste is echter veel beter.

De vergroting van elke kijker kan men vinden door de brandpuntsafstand van het objectief (f_{ob}) te delen door de brandpuntsafstand van het oculair (f_{oc}). Dus $V = f_{ob} : f_{oc}$.

Is de brandpuntsafstand van het objectief 1 m en van het oculair 1 cm, dan is de vergroting $V = 100 : 1 = 100 \times$. Het is duidelijk, dat we dan een vergroting van 200 × kunnen krijgen door een oculair te nemen met een brandpuntsafstand van 0,5 cm. Het is theoretisch dus mogelijk door het gebruiken van oculairen met verschillende brandpuntsafstanden elke gewenste vergroting te verkijgen.

Er is nog een andere manier om de vergroting van de kijker te bepalen. Richt de kijker op een egaal verlicht vlak, b.v. de lucht. Houdt achter het oculair een stukje matglas. Hierop verschijnt een cirkelvormig lichtvlekje, de uittree-pupil van de kijker. Verschuif het matglas tot het cirkeltje scherp begrensd is, en meet de middellijn van het cirkeltje (m.) Meet ook de middellijn van het objectief (D). De vergroting is nu $V = D : m$.

Als we de vergroting op deze wijze berekenen is 't mogelijk de brandpuntsafstand van een oculair te bepalen uit $V = f_{ob} : f_{oc}$.

Dit is prettig, omdat de brandpuntsafstand van een samengesteld oculair dikwijls moeilijk rechtstreeks te bepalen is.

De uittree-pupil. We volgen eerst een horizontale evenwijdige bundel licht die door het objectief in de kijker valt (getrokken lijn in fig. 11). De stralen gaan alle door het brandpunt F van het objectief.

Het oculair is zodanig geplaatst, dat in F ook het brandpunt van het oculair ligt. Dan zal de bundel na het passeren van het oculair weer evenwijdig zijn. Wat daarna gebeurt is niet meer getekend: deze evenwijdige bundel wordt door de lens van ons oog tot één punt op het netvlies verenigd.

De evenwijdige bundel, die door het objectief valt, zou b.v. van een

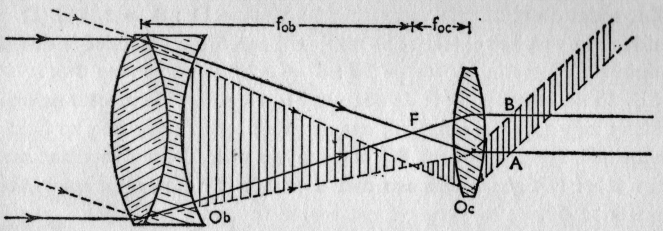


Fig. 11

ster kunnen komen. De kijker heeft er nu voor gezorgd, dat deze ster op ons netvlies wordt afgebeeld als een punt. (Omdat de lichtbundel, die door het objectief valt, veel groter is dan de lichtbundel die zonder kijker door onze pupil valt, is het beeld van de ster, gezien door de kijker, veel helderder).

Volgen we nu een evenwijdige lichtbundel die schuin invalt (gestippeld getekend). Deze komt b.v. van een ster die iets hoger aan de hemel staat. Het resultaat is weer, dat uit het oculair een evenwijdige lichtbundel treedt.

Als we dit voor nog andere richtingen ook zouden tekenen, merken we dat alle uit het oculair tredende lichtbundels tussen A en B doorgaan.

Achter het oculair bevindt zich dus een cirkeltje met de middellijn AB, waar alle in de kijker tredende lichtstralen weer uittreden. Dit cirkeltje wordt daarom de uittree-pupil*) genoemd en de rand van het objectief noemt men de intree-pupil.

De minimale vergroting (Vmin). Als we een groot gezichtsveld en een zeer helder beeld willen hebben (b.v. bij het zoeken en waarnemen van kometen, nevels, melkweg enz.) kiezen we een zo klein mogelijke vergroting. Maar om het gehele kijker-objectief te benutten moeten we zorgen dat alle stralen, die door het objectief vallen, ook in het oog komen.

Nu gaan alle stralen, die door het objectief vallen, ook door de uittree-pupil van de kijker. Als we dus zorgen dat de uittree-pupil niet groter is dan de oog-pupil, gaat er geen licht verloren.

Bij nachtelijke waarnemingen is de middellijn van onze oogpupil ca. 8 mm. De uittree-pupil van de kijker mag dus maximaal 8 mm

---

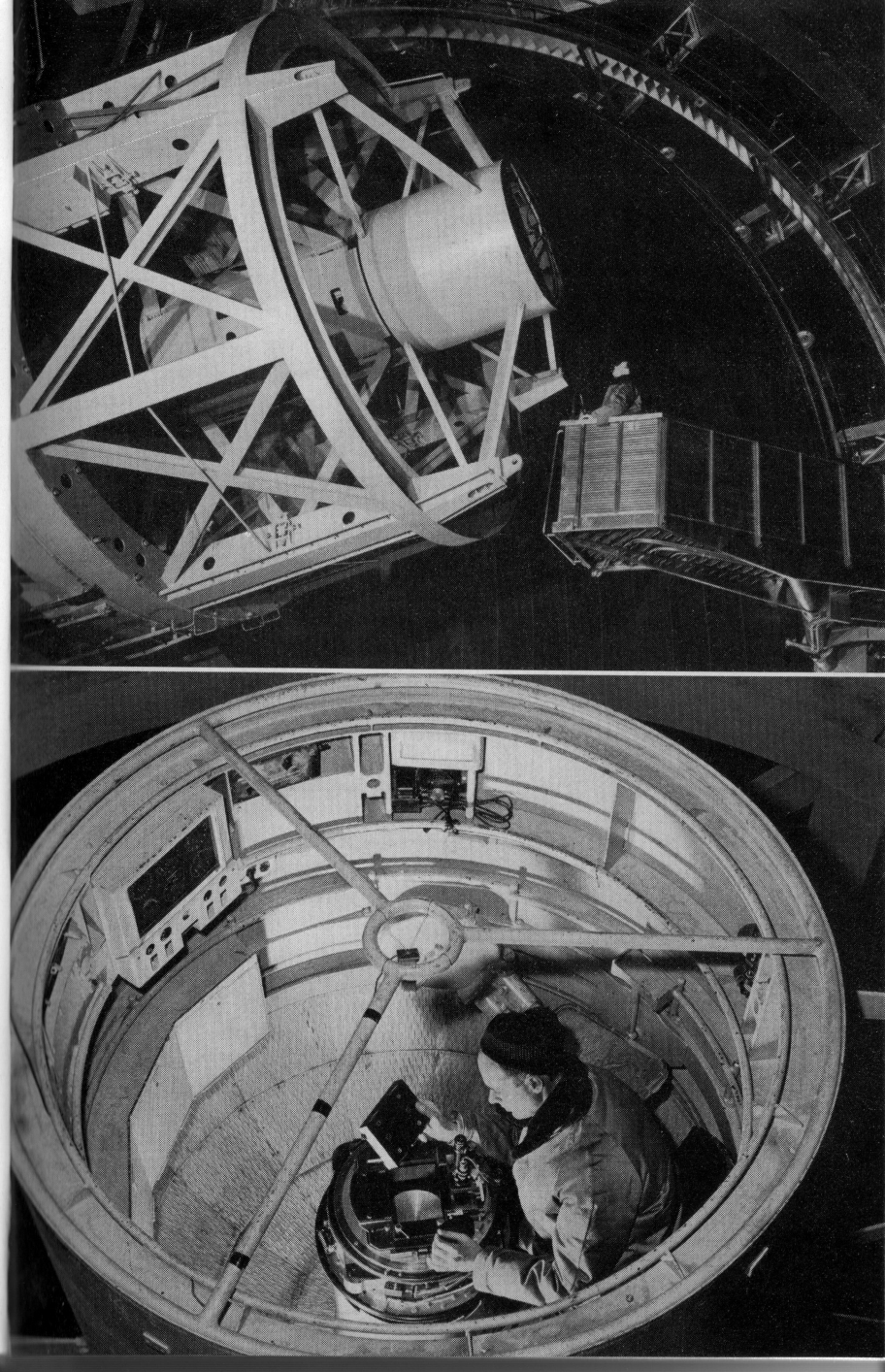
*) *De uittree-pupil is het beeld, dat het oculair van de intree-pupil vormt.*

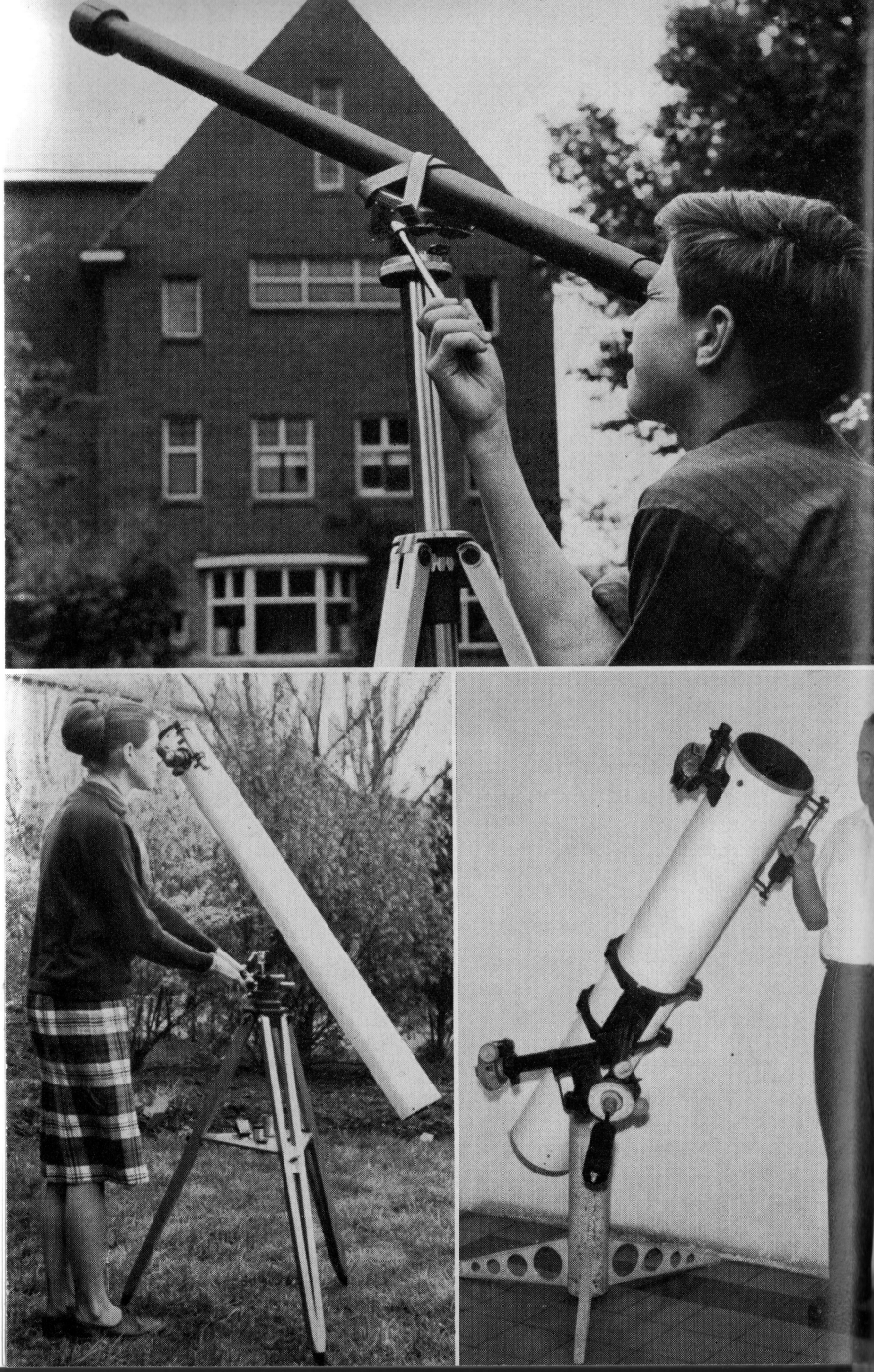
zijn, zodat de minimale vergroting is: $V_{min} = D : 8 = 1/8\ D$ (D = middellijn van het objectief in mm). Bij een 5 cm objectief is dus de minimale vergroting $V_{min} = 50 : 8 = 6{,}25$ dus ongeveer 6 ×.
N.B. In de schemering is de oogpupil iets kleiner. De meeste prismakijkers zijn zo geconstrueerd, dat ze in de schemering nog zo helder mogelijke beelden geven. Bij objectieven van 30 mm vergroot men dan 6 ×. Dit geeft men aan met 6 × 30. De grotere prismakijkers zijn 8 × 50.
In het volle licht (dus b.v. ook bij het waarnemen van de maan) is de oogpupil ongeveer 2 mm.

De optimale vergroting (V_{opt}). Bij een bepaalde vergroting worden juist alle details zichtbaar, die in het beeld, dat het objectief vormt, aanwezig zijn.
Verdere vergroting geeft dus niet méér details; ze komen alleen verder uit elkaar te liggen en het beeld maakt de indruk niet meer helemaal scherp te zijn. Deze vergroting noemt men de optimale — de beste — vergroting.
De optimale vergroting ligt tussen $^1/_2$ D en D, afhankelijk van de gezichtsscherpte van ons oog.
Dus $V_{opt} = {}^1/_2$ D à D.
De optimale vergroting bij een objectief van 60 mm is dus 30 à 60 ×.
De optimale vergroting zullen we voor de meeste astronomische waarnemingen kiezen en bij de keuze van onze oculairen zorgen we, dat het eerste oculair dat we aanschaffen, een vergroting geeft die vrijwel overeenkomt met de optimale.

De maximale vergroting (V_{max}). Voor het waarnemen van dubbelsterren en voor het testen van objectieven heeft het wel eens nut boven de optimale vergroting uit te gaan.
Het heeft echter geen zin de vergroting hoger op te voeren dan $V_{max} = 2$ D en dit geldt alleen maar voor kleinere objectieven (tot D = 150 mm) en een zeer rustige atmosfeer.

De astronoom op weg naar het brandpunt van de grootste telescoop van de mensheid: de Hale-telescoop op de Mount Palomar in Californië. De hoofdspiegel van deze telescoop heeft een middellijn van 5 meter. We zien hier alleen het bovenste deel van de kijker: de grote cilindervormige kamer die rond het primaire brandpunt van de spiegel gebouwd is.
Een waarnemer bij het primaire brandpunt van de Hale-telescoop.





Voor grotere instrumenten of bij 'normale' atmosferische omstandigheden in ons land geldt dat $V_{max} = D$. Het heeft dus geen zin bij een kijker oculairen aan te schaffen, die een vergroting boven $V_{max} = 2\ D$ zouden geven.
De eindconclusie is: bij een objectief hoort een oculair, dat de optimale vergroting geeft: $V_{opt} = {}^1/_2\ D$ à D. De aanschaf van een zwakker oculair tot de vergroting $V_{min} = 1/8\ D$ is zinvol bij vele waarnemingen. Een oculair, dat de vergroting $V_{max} = 2\ D$ zou opleveren, heeft maar weinig zin; de atmosferische omstandigheden zullen slechts enkele dagen in het jaar waarnemingen van dubbelsterren met V_{max} (en voor andere waarnemingen gebruiken we V_{max} niet) mogelijk maken.

Nadelen van een sterke vergroting. Een sterke vergroting (tot V_{max}) heeft weinig zin, zoals we al zagen. Daarbij voegen zich nog de volgende nadelen van een sterke vergroting:
1. Een klein gezichtsveld.
2. De hemellichamen verdwijnen snel uit het gezichtsveld en we moeten de kijker voortdurend bijstellen.
3. De helderheid is klein, behalve bij sterren.
4. Atmosferische storingen beïnvloeden het beeld sterker.
5. We hebben meer last van de onvolmaaktheden van de montering (trillingen) en van het volgmechanisme.
6. De geringste fouten van het objectief worden ook hinderlijker.

2 Licht vergaren

De 'grootte' van een telescoop wordt gekarakteriseerd door de middellijn van het objectief op te geven. Zo spreekt men van een 60 mm kijker of van een 15 cm kijker.
Van deze middellijn (D) is afhankelijk hoeveel licht er tenslotte door onze pupil naar binnen komt, want door de optiek van de kijker wordt een lichtbundel met de middellijn D vernauwd tot een bundel met een middellijn die kleiner is dan of gelijk aan de oogpupil.
Als we een kijker met een objectiefmiddellijn van 5 cm en een met een objectiefmiddellijn van 10 cm hebben, vangt de tweede 4 ×

◀ *Een nauwkeurig nagemaakt model van een der kijkertjes van Galileï. Het objectief is een dubbelbol brilleglas. Er zijn zelfs nog aardige maanfoto's mee te maken.*
10 cm Newton-telescoop (Polarex)
20 cm Newton-telescoop van G. Heillegger (Willemstad, Curaçao)

zoveel licht op als de eerste. De lichtsterkte van een kijker is dus evenredig met het kwadraat van de objectiefmiddellijn.
De lichtsterkte van een kijker is 0,6 D^2 : d^2 maal de lichtsterkte van het ongewapend oog, waarbij D = de middellijn van het objectief en d de middellijn van de oogpupil. De factor 0,6 drukt het lichtverlies uit door terugkaatsing en absorptie in de optiek van de kijker.
Hoe groter de lichtsterkte van de kijker, hoe zwakker ook de sterren, die nog juist met de kijker zichtbaar zijn. Naar hun helderheid verdeelt men de sterren in z.g. grootte-klassen of magnituden (m).
Sterren van klasse 6 zijn nog juist met het blote oog te zien. Sterren van klasse 5 zijn ongeveer $2\frac{1}{2} \times$ zo lichtsterk; van de grootte-klasse 4 zijn ze $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ maal zo lichtsterk enz. Met behulp van een kijker kunnen we zwakkere sterren, als van klasse 6, nog zien.
In de tabel is naast de objectief-diameter aangegeven welke magnitude (m) van de sterren nog juist te zien is.

D (in cm)	*m*	*D (in cm)*	*m*
2,5	10	20	14,8
5	12	25	15,2
7,5	13	30	15,6
10	13,5	40	16
12,5	14	250	18,8
15	14,5		

De objectief-middellijn van 250 cm is opgenomen, omdat de grote telescoop op de Mount Wilson in Californië deze diameter heeft. Er zijn verschillende oorzaken waardoor de kijker deze waarde niet haalt: een onrustige atmosfeer, storend stadslicht of maanlicht, de aanwezigheid van een heldere ster in het gezichtsveld, onvolmaaktheid van het objectief enz.
Tot nu toe was er sprake van puntvormige lichtbronnen, n.l. sterren. Bij het waarnemen van hemellichamen zoals de maan, de planeten, nevels en kometen, liggen de zaken anders.
Het kan gemakkelijk worden aangetoond, dat de helderheid van zo'n hemellichaam, gezien door de kijker, nooit groter kan zijn dan waargenomen met het blote oog.
De helderheid is afhankelijk van de vergroting. Nemen we de vergroting 2 $\times$ zo groot, dan wordt de helderheid 4 $\times$ zo klein; de helderheid is n.l. omgekeerd evenredig met het kwadraat van de vergroting.

De nachtelijke hemelachtergrond zelf is nooit helemaal donker; deze gedraagt zich dus als een zeer lichtzwak uitgebreid hemellichaam. Daaruit volgt, dat bij sterkere vergrotingen de achtergrond donkerder wordt t.o.v. de sterren (die puntvormige lichtbronnen vormen). Gaat het er dus om, een zeer lichtzwak sterretje, op de grens van wat de kijker kan presteren, nóg te zien, dan moeten we een sterke vergroting gebruiken. De helderheid van de ster is onafhankelijk van de vergroting, maar bij sterkere vergroting wordt wel de achtergrondhelderheid kleiner, zodat het contrast groter wordt.

3 Gestoken scherp en de spelbreker

Het buigingsschijfje. Als het objectief van onze kijker geen enkele afbeeldingsfout heeft, zouden we verwachten, dat alle lichtstralen die van één punt (b.v. een ster) uitgaan weer in één punt in het brandvlak samenkomen.
Dit is niet zo. Het ligt in het wezen van het licht, dat in het brandvlak een cirkelvormig lichtvlekje ontstaat (het buigingsschijfje van Airy). Dit vlekje bestaat uit een helder centrum, omgeven door minder heldere lichtcirkels (fig. 12).
Bij instrumenten, waar de stralengang van het objectief naar het oog niet onderbroken is (b.v. een lenzenkijker) komt ca. 80 % van al het licht in het centrale schijfje. De middellijn van dit schijfje (dat we op een scherm of een fotografische plaat in het brandvlak kunnen opvangen) is te berekenen uit:

$$d = \frac{7}{10.000} \times \frac{f_{ob}}{D} \text{ mm}$$

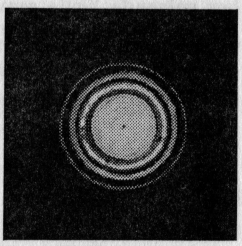


Fig. 12

d = middellijn van het schijfje.
f_{ob} = brandpuntsafstand van het objectief.
D = middellijn van het objectief.
7/10.000 = een afgerond getal, waarin ook de golflengte van het licht (hier geel licht, waarvoor ons oog het gevoeligst is) verrekend is. Een kijker met een objectief met een middellijn van 5 cm en een brandpuntsafstand van 60 cm geeft dus een buigingsschijfje met een middellijn van

$$d = \frac{7}{10.000} \cdot \frac{60}{5} = 0{,}0084 \text{ mm}$$

Als met de kijker foto's worden gemaakt is het natuurlijk belangrijk de middellijn van het buigingsschijfje te kennen. Maar bij het visuele waarnemen kunnen we de „scherpte" (het z.g. scheidend vermogen) beter anders uitdrukken.

Als twee sterren dicht bij elkaar staan, zullen we met een kijker met een groot scheidend vermogen twee puntjes kunnen zien, terwijl een kijker met een gering scheidend vermogen slechts één puntje te zien geeft. Het scheidend vermogen drukken we dan uit in de hoekafstand (in boogseconden) die de sterren mogen hebben om ze nog juist als twéé sterren te kunnen onderscheiden.

Dit scheidend vermogen (s) hangt alleen af van de middellijn (D) van het objectief.

$$s = \frac{120''}{D} \text{ (D in mm)}$$

Een kijker met een objectief van 5 cm middellijn zal dus nog dubbelsterren kunnen scheiden die 2,4 boogseconde van elkaar staan, want $s = 120''/50 = 2{,}4''$.

Een dubbelster, waarvan de componenten b.v. 1″ van elkaar staan, zullen we met een 5 cm kijker nooit als twee afzonderlijke sterren kunnen zien, al kiezen we nog zo'n sterke vergroting.

(Even goed als het onmogelijk is met een boor van 2,4 mm middellijn een gaatje van 1 mm te boren!)

We kunnen met behulp van de formule $S = 120''/D$ gemakkelijk het volgende lijstje samenstellen.

Middellijn objectief (ongewapend oog)	*Scheidend vermogen* (4′ = 240″)
1 cm	12″
2 cm	6″
4 cm	3″
5 cm	2.4″
6 cm	2″
8 cm	1.5″
10 cm	1.2″
15 cm	0.8″
20 cm	0.6″
25 cm	0.48″
30 cm	0.4″

Nu denkt u misschien, dat een kijker met een perfect geslepen spiegel of lenzenstelsel dit theoretisch scheidend vermogen ook haalt.
Dit is niet waar.
Kleinere lenzenkijkers halen het gemakkelijk maar grotere niet. Uit ervaring weet men, dat volmaakt geconstrueerde Newton-telescopen niet veel meer dan de helft van het theoretisch scheidend vermogen halen. Bij Cassegrain-telescopen wordt het nog ongunstiger.

Nogmaals maximale vergroting. Ons oog ziet twee lichtpuntjes pas afzonderlijk, als ze een hoek van ongeveer 4′ met elkaar maken (4 min. = 4 × 60″ = 240″).
Er is dus bij een 5 cm objectief (zie lijstje) een vergroting van 240/2,4 = 100 × nodig. Dit is dus ook de bovenste grens der vergroting, die nog enig nuttig effect heeft bij het waarnemen van dubbelsterren. Deze grens zullen we V_{max} noemen. Ze bedraagt twee maal de middellijn van het objectief in mm.
In het algemeen is het oplossend vermogen 120″/D. Bij een vergroting V wordt deze hoek: $\frac{120''}{D} \cdot V$.

Als deze hoek 4′ of wel 240″ is, zitten we aan de grens der vergroting omdat dan de buigingsschijfjes zichtbaar worden en niet meer puntvormig lijken. Dus voor de maximale vergroting geldt:

$$\frac{120''}{D} \cdot V = 240'', \text{ waaruit volgt } V_{max} = 2D.$$

We zullen nog zien, dat we deze vergroting alleen in uitermate gunstige omstandigheden kunnen gebruiken.

Bepaling van het scheidend vermogen met een testkaart. Men kan heel moeilijk het scheidend vermogen van een kijker bepalen door op te geven, wat je er b.v. allemaal mee kunt zien. We hebben daarvoor een meer onpersoonlijke meetmethode nodig.
Om onze kijker te testen, zouden we het beste na kunnen gaan welke dubbelsterren we nog net gescheiden kunnen zien. Van een groot aantal dubbelsterren is n.l. de boogafstand aan de hemel bekend.
Dit is echter een enorm tijdrovend werk, waarbij de onrust van de atmosfeer nog dikwijls roet in het eten strooit.

We kunnen het scheidend vermogen ook met een testkaart bepalen (zie achter in dit boek). Hierop staan groepjes steeds dichter bij elkaar staande witte en zwarte lijntjes.
We stellen de testkaart zo op, dat hij goed verlicht wordt en bekijken dan de kaart op een afstand van 25 à 100 m door onze kijker met ons sterkste oculair.
Stel, dat we op een afstand van 51,5 m staan. We bestuderen nu rustig de testkaart en zoeken 't groepje op, dat we nog juist als witte en zwarte lijntjes zien. Nemen we aan, dat dit het groepje is waar 1,25 bij staat dan zien we het groepje van 1,4 volkomen egaal grijs. U zult wel last hebben van de onrust van de lucht en af en toe zelfs het groepje 1,1 en 1,0 zien vervagen. We moeten waarnemen in de rustige ogenblikken en daarom houden we 1,4 nog even in de gaten telkens als de lucht weer rustig is. Blijft 1,4 grijs, dan blijven we bij 1,25.
Met de volgende formule vinden we dan het scheidend vermogen in boogseconden:

$$S = \frac{206}{A \times N}$$

Daarin is A de afstand van het objectief van de kijker tot de testkaart, in meters en N het getal bij 't groepje waarvan we de lijntjes nog juist kunnen zien.
In ons geval was het scheidend vermogen dus:

$$S = \frac{206}{51{,}5 \times 1{,}25} = 3{,}2''$$

Om te beoordelen hoe goed onze kijker is, vergelijken we deze uitkomst met het theoretisch scheidend vermogen van onze kijker. We kunnen de kwaliteit ook in procenten uitdrukken. Daarvoor gebruiken we de volgende formule:

$$K = \frac{100 \times \text{het theoretisch scheidend vermogen}}{\text{het werkelijk scheidend vermogen}}$$

Stel, dat onze kijker een objectiefmiddellijn heeft van 5 cm (daarvoor is het theoretisch scheidend vermogen 2,4″), dan is de kwaliteit:

$$K = \frac{240}{3{,}2}\ \% = 75\,\%$$

Voor een Newton-telescoop zou dit een gunstige waarde zijn*). Met het kleine testkaartje kunt u alle telescopen testen. Is zelfs 2,8 nog helemaal te zien, dan vergroot u de afstand. Is 1,0 nog helemaal grijs, dan verkleint u de afstand.

Spelbreker: de atmosfeer. Dikwijls komt het volledige scheidend vermogen niet bij onze waarnemingen tot zijn recht. Er is een spelbreker! 'n Bekend amateur-astronoom schreef daarover:
"De beroerdste plaag van de amateur-astronoom (behalve misschien muggen en bijtende koude) is de onrust van de atmosfeer." (Thompson).
De atmosfeer werkt als een zwaar filter, dat vele soorten straling tegenhoudt.
Een verontreinigde en onrustige atmosfeer is te vergelijken met een filter van zeer slecht glas, waarin slierten en bobbels voorkomen. De grote telescopen worden daarom alleen geplaatst op hoge bergen in gebieden met een gunstig klimaat.
Ons land is al heel weinig geschikt voor astronomische waarnemingen. Niet alleen omdat we gemiddeld zo weinig onbewolkte nachten hebben, maar omdat in die onbewolkte nachten de astmofeer meestal niet rustig is. Een heldere vriesnacht met sterk twinkelende sterren b.v. is uiterst ongunstig.
Van een buigingsschijfje als beeld van een ster is dan geen sprake meer. Het beeldje is groter dan het theoretisch te verwachten buigingsschijfje en het danst op en neer en kronkelt zich voortdurend in allerlei vormen.
Hoe dichter de ster of de planeet bij de horizon staat, des te slechter wordt het beeld omdat we nabij de horizon door een ongeveer 10 × zo dikke luchtlaag heen kijken als bij het zenith. Pas een stand van 40° boven de horizon is gunstig te noemen.
De gunstigste nachten vallen in het najaar. Het komt dan voor, dat er een heel lichte mist hangt, terwijl de atmosfeer zeer rustig is. Dan kan onze telescoop pas laten zien wat zij waard is. Bij sterke ver-

---

*) *Met behulp van het testkaartje kunnen we verschillende kijkers goed onderling met elkaar vergelijken. Een exacte bepaling van het scheidend vermogen geeft het echter niet. We hebben de zaken zo simpel mogelijk voorgesteld. Maar het maakt echter veel uit of wij testen met streepjes dan wel met puntjes, en tegen een donkere of tegen een lichte achtergrond. Verder zegt een hoog scheidend vermogen nog niet dat zwakke contrasten (bv. op planetenschijfjes) wel of niet duidelijk gezien kunnen worden.*

grotingen zien we het buigingsschijfje omgeven door lichte ringen. Gelukkig komen bij vrij ongunstige atmosferische toestand ook regelmatig korte tijden voor waarin het beeld zeer goed is.
We bekijken b.v. de maan bij een vergroting van V = D en het is bijna onmogelijk om scherp te stellen; plotseling echter wordt het vage beeld haarscherp om daarna weer te vervagen, zonder dat we de instelling veranderd hebben.
De geoefende waarnemer maakt juist van zulke ogenblikken van goede 'seeing' gebruik.
De telescopen met een kleine objectief-middellijn hebben minder last van de onrust van de atmosfeer dan die met grotere middellijn omdat de in een kleinere kijker vallende lichtbundel door een dunnere pijp van onrustige lucht is gegaan.
Bij zeer onrustige atmosfeer heeft zelfs een kijker met een kleinere objectiefdiameter een groter scheidend vermogen dan een kijker met grotere objectiefdiameter.
Dit is de reden waarom het in ons klimaat weinig zin heeft telescopen te gebruiken met een grotere objectiefdiameter dan 20 cm.
Het laatste stukje dat het licht in de atmosfeer moet afleggen, kan dikwijls het beeld totaal bederven. We bedoelen de lucht in de kijkerbuis tussen het objectief en het oculair.
Als de telescoop uit een warmere omgeving (binnen) in een koudere (buiten) komt of omgekeerd, ontstaan er in de buis luchtstromingen. Het beeld wordt daardoor onscherp, het lijkt of het 'kookt'.
Er zijn twee effectieve middelen om dit tegen te gaan.

1. Neem de telescoopbuis 2 cm groter in diameter dan het objectief en bekleed de binnenkant met een plaat kurk van $\pm \frac{1}{2}$ cm dikte.
2. Zet het instrument direct na zonsondergang buiten, zodat het de temperatuur van de buitenlucht aanneemt*).

Het eerste heeft alleen zin bij gesloten kijkertypen. Tot het tweede moeten we wel onze toevlucht nemen bij open kijkers.
We moeten er ook rekening mee houden, dat ons lichaam warmte afgeeft. Houden we b.v. de kijkerbuis met de hand vast, dan ontstaan ook luchtstromingen.

---

*) *Dit moeten we in elk geval doen om het objectief de temperatuur van de omgeving te laten aannemen. Bij grotere spiegels (bv. 20 cm) kan dit wel 'n uur duren.*

Sommige plaatsen zijn zeer ongeschikt om een kijker te plaatsen, omdat de lucht er te onrustig is: b.v. in een stad stijgt in de winternachten een voortdurend trillende warme luchtkolom op. En 's zomers als overdag de 'stenen stad' goed verwarmd is geweest, krijgen we hetzelfde effect in de voornacht. De na-nacht is dan de beste waarnemingstijd.
Voor wie wil weten, wat de beste plaats is voor het opstellen van zijn telescoop geven we de volgende beschrijving, die echter voor ons land geen enkel praktisch nut heeft:
Een droog plateau ca. 1000 m boven de zeespiegel, bedekt met plantengroei, in een droog klimaat met veel heldere nachten, ver verwijderd van de zee, van dalen en van steden.

4 Het laatste deel van het optisch stelsel: het oog

Wij wijzen hier slechts op enige details, die bij astronomische waarnemingen van belang zijn.
Wie over dit bijzonder interessante onderwerp meer wil weten, leze: *De weg van het zien*, door prof. Colenbrander.
Het oog kunnen we beschouwen als een positieve lens met een brandpuntsafstand van ca. 15 mm, waarachter de gevoelige laag: het netvlies.
Op 1 mm van het netvlies wordt ongeveer 4° afgebeeld. Er zijn twee soorten gevoelige elementen (zenuwuiteinden) in het netvlies: de *kegeltjes*, die gevoelig zijn voor kleur en die alleen in het centrum van het netvlies voorkomen.
Verder de *staafjes*, die buitengewoon gevoelig zijn voor licht; ze zijn echter 'kleurenblind'.
Bij astronomische waarnemingen komen vooral deze staafjes in aanmerking. Omdat deze staafjes echter niet voorkomen in het centrum van het netvlies, zullen zwakkere sterren (b.v. vanaf de 3-de grootte) onzichtbaar zijn als we ze fixeren. Om die te zien, moeten we er 'juist even naast' kijken.
Als we van het licht in het donker komen (dus bij het begin van het waarnemen) gebeuren er verschillende dingen.
De oogpupil verwijdt zich. Ze krijgt een 4 × zo grote middellijn en we ontvangen dus 16 × zoveel licht. Maar ook gaat zich in het netvlies een stof (het gezichtspurper) vormen, die de staafjes veel lichtgevoeliger maakt. Dit duurt ongeveer 20 minuten. Het oog is dan ongeveer 100.000 maal zo gevoelig geworden!
Vitamine-A-gebrek is oorzaak van het slecht vormen van gezichts-

purper (nachtblindheid) en ook nicotine verhindert de snelle vorming van gezichtspurper (een half uur na het roken van een sigaret nog merkbaar).

Het waarnemen van de maan, planeten en heldere sterren gebeurt natuurlijk wèl in het centrum van het gezichtsveld met de kegeltjes; daarom kunnen wij daaraan ook gemakkelijk kleur onderscheiden.

Echt waarnemen vermoeit het oog snel. De kunst van het waarnemen bestaat erin snel te zien wat men wil zien, om daarna het oog weer rust te geven.

Hierbij kan nog opgemerkt worden, dat het van belang is de kijker zo op te stellen, dat men zonder spanning, zittend kan waarnemen.

Elke onnatuurlijke houding maakt een langdurige waarneming tot een kwelling.

Elk normaal oog is wat astigmatisch, heeft sferische aberratie en chromatische aberratie. Bij sterke vergrotingen zijn de invallende bundels smal (denk aan de uittreepupil) en dan worden deze fouten onmerkbaar klein.

Men kan zelfs zeggen, dat ze niet meer waarneembaar zijn als de uittreepupil kleiner is dan 2 mm. Maar.... bij zulke smalle bundels treedt een ander hinderlijk verschijnsel op. In het oogvocht zweven kleine verontreinigingen (dode cellen b.v.) en deze worden zichtbaar als kleine schijfjes en slierten. Bij het staren naar een egaal-zwak verlicht vlak, b.v. de onbewolkte hemel in de schemering, ziet men ze duidelijk.

Deze onregelmatigheden zijn hinderlijk bij het waarnemen als ze de nauwe invallende bundel passeren.

Een waarnemer die ver-ziend of bij-ziend is, kan gerust zonder bril waarnemen; alleen zal hij dan de kijker iets moeten bijfocusseren.

Het waarnemen zonder bril is prettiger, omdat men dan van het gehele gezichtsveld gebruik kan maken. Als het oog sterk astigmatisch is, zodat men cilindrische glazen ter correctie daarvan draagt, kan men de bril niet missen.

Hoofdstuk 5 Het slijpen en polijsten van telescoopspiegels

Het slijpen en polijsten van holle en bolle spiegels en het slijpen van lenzen is vrij wat eenvoudiger dan men in het algemeen denkt. Wie er een hele dag voor uittrekt en werkt onder leiding van iemand die het al eens meer gedaan heeft, kan gemakkelijk een holle spiegel met een middellijn van 15 cm en een brandpuntsafstand van 120 cm in die tijd slijpen en polijsten.
Het gereedschap is verrassend simpel. Eigenlijk kan men niet eens van gereedschap spreken: behalve de glazen schijf, die uiteindelijk de holle spiegel moet worden, heeft men nog een andere glazen schijf nodig, slijppoeder, polijstpoeder en pek.
Het verwondert ons steeds weer, dat met zulke eenvoudige middelen en in zo korte tijd hoogwaardige optische produkten ontstaan met afwijkingen die gemeten kunnen worden in onderdelen van een golflengte van het licht*).

Gewoonlijk wordt het testen van de nauwkeurigheid der spiegeloppervlakte en de correctie van afwijkingen van de oppervlakte tegelijk behandeld met het polijsten. Het is echter onze ervaring dat ook zonder testen en correctie zeer bruikbare spiegels en lenzen**) ontstaan, als men zich nauwkeurig houdt aan de werkwijze die wij aangeven. We raden zelfs aan om bij het slijpen van de *eerste* spiegel totaal geen test of correctie toe te passen. Pas wie enige ervaring in de eenvoudige handelingen van slijpen en polijsten heeft, kan met vrucht de aanwijzingen volgen en gebruiken die in hoofdstuk 8 behandeld worden.
Beschrijvingen van handelingen lijken altijd heel ingewikkeld. En hoe uitgebreid de beschrijving ook is, toch verkeert de onervarene voortdurend in de onzekerheid of hij dit of dat wel goed doet. We raden

---

*) *De golflengte van geel licht is ongeveer* $\frac{1}{20.000}$ *cm.*

**) *Het slijpen en polijsten van grote lenzen gaat op dezelfde manier als hier wordt beschreven voor spiegels. Het maken van een lenzenkijker is echter veel lastiger dan van een spiegelkijker. Het objectief van een lenzenkijker bestaat nl. altijd uit minstens 2 lenzen. Er zijn dus 4 glasoppervlakken te bewerken, die nog nauwkeurig op elkaar afgestemd moeten zijn. Bovendien heeft men hiervoor twee verschillende soorten optisch glas nodig!*

dan ook iedereen, die een spiegel of lens wil slijpen, aan iemand op te zoeken die het eens voor kan doen.
Alleen wie onmogelijk iemand kan vinden, moet maar de koers varen, die wij zo duidelijk mogelijk zullen proberen uit te zetten.

1 Het materiaal

Glas. Voor spiegels heeft men geen zgn. optisch glas nodig. Er mogen blaasjes in zitten en het behoeft niet homogeen te zijn, omdat het licht niet dóór de spiegel gaat, maar weerkaatst wordt.
Gewoon vlak spiegelglas is uitstekend. Er bestaan wel glassoorten die minder uitzetten als de temperatuur stijgt, maar deze zijn duurder. Pyrex wordt graag voor telescoopspiegels gebruikt (de 5 meter grote spiegel van de Hale-telescoop is van pyrex); de uitzettingscoëfficiënt hiervan is slechts 1/3 van die van spiegelglas, maar het is ook veel harder en moeilijker te slijpen.
Dat pyrex geen noodzaak is, blijkt al hieruit, dat b.v. de grote 2,5 m spiegel van de Hooker-telescoop op de Mount Wilson ook van spiegelglas gegoten is.
De dikte van de schijf neemt men gewoonlijk 1/6 à 1/8 van de middellijn, om doorbuigen te voorkomen. Het is aan te raden om als eerste spiegel geen grotere te slijpen dan een van 11 cm middellijn.
Men heeft 2 schijven nodig. De schijf, die uiteindelijk de spiegel wordt, noemen we in het vervolg de *spiegel*, de andere de *plaat*.

Slijppoeders. Hiervoor gebruikt men Carborundumpoeder. Dit is in verschillende korrelgrootten verkrijgbaar. Voor het slijpen komen (met de grofste te beginnen) in aanmerking:
80 — 100 — 150 — 180 — F — FF — FFF — 800 — 1200
Of men deze poeders alle gebruikt, hangt af van de hoeveelheid glas die weggeslepen moet worden. Als men een 15 cm spiegel (15 cm middellijn) slijpt met een korte brandpuntsafstand (b.v. 100 cm) is het aan te raden met poeder 80 te beginnen. Een kleinere spiegel (b.v. 11 cm) met een lange brandpuntsafstand (b.v. 150 cm) kan men beter met poeder 180 beginnen te slijpen.
De hoeveelheid die men van elk poeder nodig heeft, hangt natuurlijk óók af van de weg te slijpen hoeveelheid glas. Van het eerste poeder dat men gebruikt, heeft men het meeste nodig.
De slijppoeders zijn echter niet duur en het is raadzaam wat meer te bestellen, dan men strikt nodig heeft, voor het geval dat men iets opnieuw moet slijpen.

De poeders moeten zo opgeborgen worden (b.v. in glazen potjes) dat er geen kans bestaat, dat een korreltje grover poeder in het fijnere terechtkomt.

Polijstpoeder. Vroeger gebruikte men hiervoor Parijs Rood (meniepoeder Fe2O3). Beter is Ceriumoxyde (CeO2), een wit of zalmkleurig poeder, dat zeker twee maal zo snel polijst als Parijs Rood.
Met een half ons kan men tientallen spiegels polijsten.

Pek. Hiervoor gebruiken we een mengsel van kroonpek (dat veelal bij een drogist verkrijgbaar is) en hars. We smelten het pek en ook de hars en als ze dun vloeibaar zijn voegen we één volumedeel pek bij 2 volumedelen hars. Dit mengsel zullen we verder polijstpek noemen. Het polijstpek mag niet te zacht en niet te hard zijn. We drukken 15 seconden lang met de nagel van de duim in het pek; als de nagel nu juist een indruk gemaakt heeft, is het polijstpek goed.
Te zacht polijstpek maken we harder door bijmengen van meer hars.

2 Het slijpen

De theorie van het slijpen

Als men twee ronde glazen schijven over elkaar heen wrijft, wordt de onderste bol en de bovenste hol. Als men zorgt dat de schijven in alle richtingen over elkaar heen wrijven en voortdurend goed met elkaar in contact komen, worden de holle en de bolle oppervlakte precies sferisch, d.w.z. delen van een perfecte bol.
Als men grof slijppoeder gebruikt en dat vernieuwt zodra het fijngeslepen is en een grote druk uitoefent, slijpt men in korte tijd veel glas weg.
Het is echter onze bedoeling bij het slijpen van een holle spiegel, dat er in het midden veel meer weggeslepen wordt dan aan de rand. Om dit te bereiken, moeten we lange W-vormige slagen maken.
Hier zijn 9 fasen van één lange slag getekend. De spiegel is gearceerd en de pijl geeft de richtingen aan waarin ze beweegt.
De rand van de spiegel komt in de uiterste stand tot boven het centrum van de plaat. We maken per 5 seconden ongeveer 5 à 8 hele slagen. Deze beweging wordt gecombineerd met een W-vormige beweging.

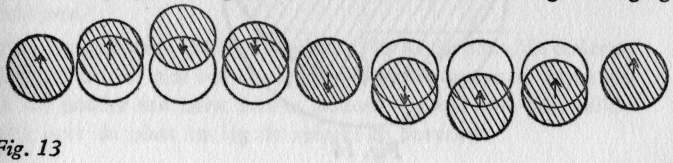


Fig. 13

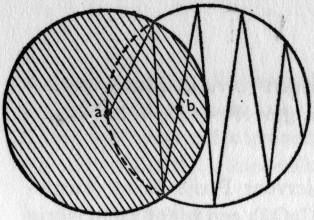


Fig. 14

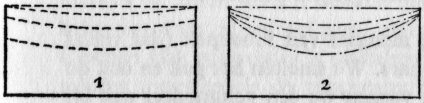


Fig. 15

De zig-zaglijn op de plaat stelt de baan voor van het centrum van de spiegel. Van *a* naar *b* is één lange slag Als men rechts gekomen is, maakt men dezelfde beweging weer naar links terug. Maakt men korte slagen, dan gebeurt wat in 1 is voorgesteld: er wordt steeds meer glas weggenomen, maar de curve wordt slechts langzaam dieper.

In 2 is het effect van de lange W-slag voorgesteld: de rand blijft grotendeels intact en de curve wordt snel dieper. Als het bovenste glas snel hol wordt, wordt vanzelfsprekend het onderste snel bol. Het is altijd de bedoeling om met het grofste poeder zo snel mogelijk dicht bij de verlangde curve te komen.

Met het eerste poeder slijpen we dus:

1. Met lange W-slagen.
2. Met een zo groot mogelijke druk.
3. We verversen het poeder zodra het niet meer knarst.

Met de volgende poeders is het de bedoeling om de putten, ontstaan door het grovere slijppoeder, weg te slijpen, *niet* om de kromming groter te maken.

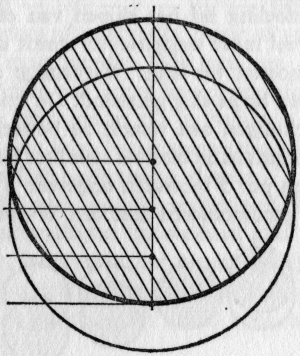


Fig. 16

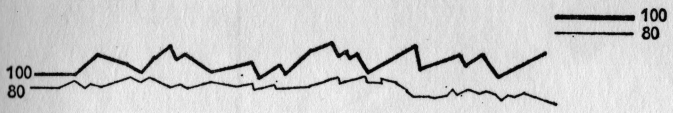


Fig. 17

We slijpen dan niet met lange slag, maar met korte slag: de rand van het bovenste glas komt ongeveer op $^1/_3$ van het centrum van het onderste. (fig. 16). De grote druk blijft noodzakelijk; ook de W-vormige bewegingen. Het effect van het slijpen met elk volgend poeder is, dat de diepe putten, ontstaan door het slijpen met het grovere poeder, weggewerkt worden; zoals in de bovenstaande figuur (sterk vergroot) voor de poeders 80 en 100 in beeld is gebracht.
Als bij het opmeten van de brandpuntsafstand blijkt, dat de kromming te groot is geworden, leggen we het holle glas onder en het bolle boven. Lange W-slagen verlengen dan de brandpuntsafstand weer snel.

De praktijk van het slijpen

Om de gedachte te bepalen, stellen we ons voor, dat we een holle 11 cm spiegel gaan slijpen met een brandpuntsafstand van 162 cm, zoals nodig is voor de hoofdspiegel van een 11 cm Kutter-telescoop. We hebben hiervoor nodig 2 glazen schijven met een middellijn van 11 cm en een dikte van 1,5 cm. (De dikte van de spiegel mag niet minder zijn dan $^1/_8$ van de middellijn!)
Het slijpbakje: bestaat uit een zeshoekig houten plankje met opstaande randen van 0,5 cm. (figuur 18).
We vernissen alles om het reinigen te vergemakkelijken.
Vervolgens zetten we het slijpbakje met drie houtjes en een spietje (s) vast op de hoek van een werkbank of stevige houten tafel.
Een van de 6 opstaande kanten van het slijpbakje geven we een herkenningsteken, b.v. door het rood te verven.
We leggen het glas in het midden en zetten het met behulp van 3 blokjes, die ongeveer 4 mm dunner moeten zijn dan het glas, goed vast.

Het slijpen

1. Strooi 2 afgestreken theelepels poeder 180 op de plaat (de onderste schijf) en laat er met een druppelflesje genoeg water op lopen om van het poeder een natte brei te maken. Verdeel deze brei gelijkmatig over de plaat en leg de spiegel er bovenop.

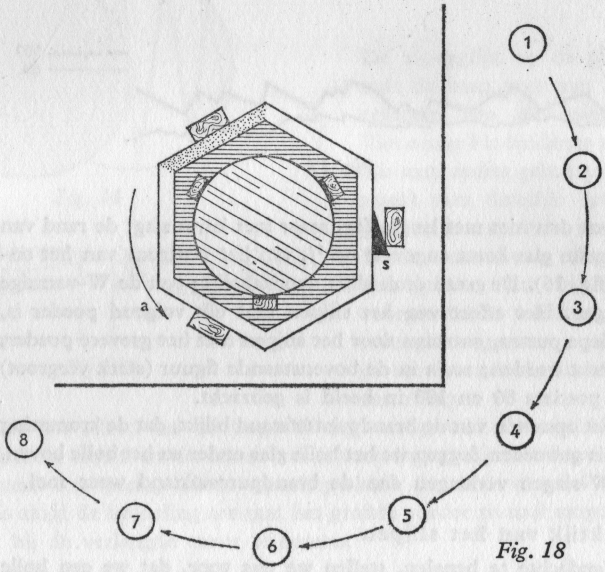
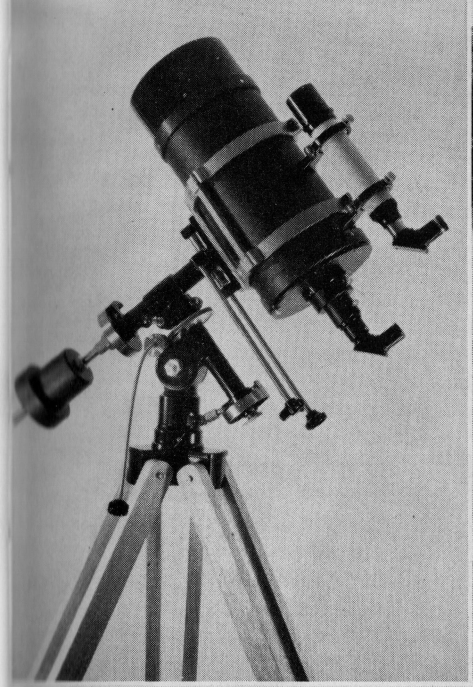
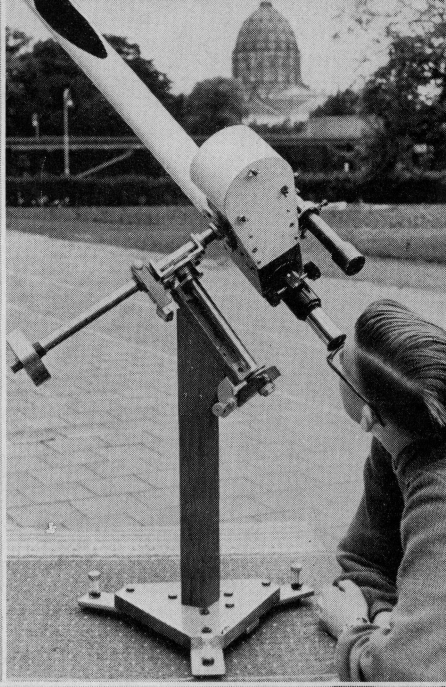


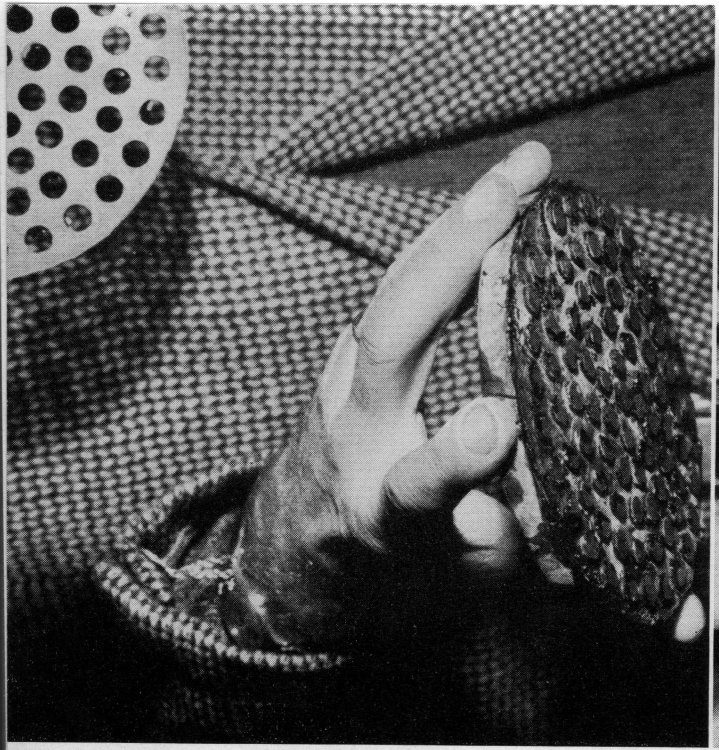
Fig. 18

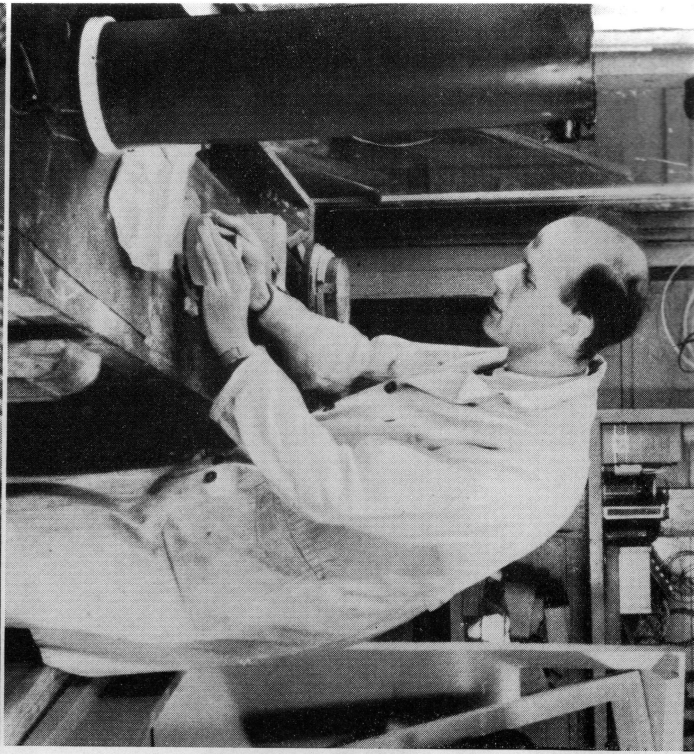
2. We beginnen nu met lange W-slagen en grote druk te slijpen. Op plaats 1 (zie fig.) maken we 2 W-slagen heen en terug; daarna draaien we iets (naar plaats 2) en maken weer 2 W-slagen etc. tot we bij 8 gekomen zijn.
   Het is mogelijk, dat we het slijppoeder al niet meer horen krassen voor we bij 8 gekomen zijn.
   Zonder de overblijfselen van het poeder (een papje van fijngebroken carborundumpoeder en glaspoeder) te verwijderen, strooien we dan nieuw poeder zoals in 1 beschreven is.
   Elk verder slijpen met fijngekraakt carborundumpoeder is hier tijdverlies.
3. Als we eenmaal rond geweest zijn (standen 1 t/m 8) maken we het slijpbakje los en zetten we de rode rand een plaats verder (in de richting van pijl *a*) en herhalen de onder 2 beschreven handelingen etc..

15 cm Maksutov-telescoop op parallactische montering. (Polarex).
11 cm Kutter-telescoop op de parallactische FloriII-montering.
75 mm lenzenkijker met een achromatisch objectief op een parallactische montering met volgkijker en zoeker. (Polarex)









Als de rode rand weer op zijn uitgangspunt terug is, maken we de spiegel en het glas onder de kraan goed schoon en gaan de brandpuntsafstand meten. (Zie pag. 72).

4. Bij zeer efficiënt slijpen kan men na ongeveer een kwartier reeds de 11 cm spiegel met poeder 180 zeer dicht bij de vereiste brandpuntsafstand krijgen.
   Blijkt bij nameten, dat men nog korte tijd verder moet slijpen, dan kort men de in 2 en 3 gegeven handelingen in door minder W-slagen in één omloop te nemen en door de rode rand niet één, maar telkens 2 plaatsen verder te draaien.
5. Wat onder 2 en 3 beschreven staat, lijkt ingewikkelder dan het is. Het zijn voorzorgsmaatregelen om de glazen schijven werkelijk *in alle richtingen* over elkaar te wrijven zodat geen afwijkingen van de sferische vorm kunnen ontstaan.
6. Als men bij het nameten van de brandpuntsafstand merkt, dat men niet meer dan 10 à 15 cm van de vereiste brandpuntsafstand verwijderd is, maakt men de spiegel, de schijf en het slijpbakje onder de kraan goed schoon, zodat er geen korreltje van poeder 180 meer te zien is, en begint met het volgende poeder (F).
   Het is nu niet meer de bedoeling om de spiegel nog veel uit te hollen, zodat we geen lange slagen meer maken, maar korte (zie pag. 66).
   De grove oneffenheden die het poeder 180 in het glas gegrift heeft, moeten nu door poeder F weggeslepen worden. Als we met grote druk blijven slijpen, is dit in ongeveer 10 minuten gebeurd.
   Daarna de spiegel weer afspoelen en de brandpuntsafstand meten. Deze moet nu ongeveer 5 cm groter zijn dan de vereiste.
   Is het verschil groter, dan zullen we bij het volgende poeder (FF) weer met lange slagen gaan werken.
   Is het kleiner, dan nemen we nog kortere slagen (1 cm lang).
7. We bekijken de oppervlakte van de spiegel nauwkeurig. Pas als we geen enkel putje van het grove slijppoeder meer kunnen ontdekken, gaan we door met het volgende poeder.
   Na elke afgewerkte poedersoort alles pijnlijk nauwkeurig schoonmaken en droogmaken.
   Het zal blijken, dat de fijnere poeders lang niet zo snel opgebruikt zijn als de grovere.

▲ *Slijpen op een keukentafel of.... in de schuur.*
◀ *Een zojuist gegoten pekbodem en het rubbermatje.*

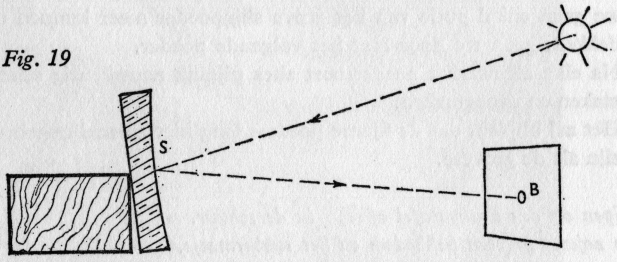
Met elk poeder slijpen we ongeveer 10 minuten (bij grotere spiegels is deze tijd langer).

8. Als bij het meten van de brandpuntsafstand blijkt dat we te ver geslepen hebben, halen we de plaat uit het slijpbakje en werken met de plaat boven en de spiegel onder tot de vereiste brandpuntsafstand verkregen is (zie pag. 67).
9. Met poeder 800 is de bewerking enigszins anders. Eerst slijpen we 5 minuten normaal, zoals boven beschreven.
   Daarna brengen we nog 2 theelepeltjes van poeder 800 op de plaat en slijpen hiermee zo lang we kunnen (± 30 minuten) *zonder het poeder te verversen.* Wel moet men af en toe een klein beetje water toevoegen.
   De zin hiervan is de volgende:
   Poeder 800 kan alleen de oppervlakte tot zeer fijn matglas maken. De spiegel blijft echter nog ondoorzichtig.
   Als we echter alsmaar met 800 doorslijpen, ontstaat uit 800 een steeds fijner poeder, dat de spiegel doorzichtig kan maken.
   Het resultaat na 30 minuten is een spiegel waardoorheen vele details van een door de zon verlicht landschap te zien zijn.
   Een zó fijn geslepen spiegel vraagt een aanmerkelijk kortere polijsttijd dan een spiegel die slechts 10 minuten met poeder 800 bewerkt is. Als we over een fijner slijppoeder dan 800 beschikken (b.v. 1200) kunnen we volstaan met 20 min. slijpen met 800 en daarna 10 minuten met 1200.

De bepaling van de brandpuntsafstand

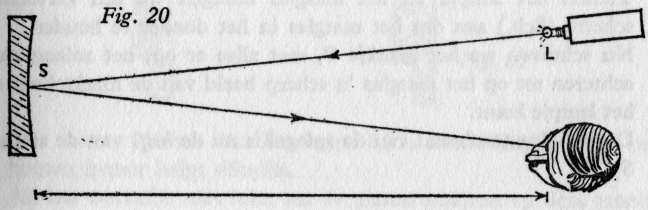
Iemand die veel spiegels van dezelfde grootte en met dezelfde brandpuntsafstand slijpt, weet dat hij na een bepaalde slijptijd dicht bij de gevraagde brandpuntsafstand zit.
Er zijn echter verschillende eenvoudige methoden om de brandpuntsafstand op ongeveer 1 cm nauwkeurig te meten.

Fig. 19



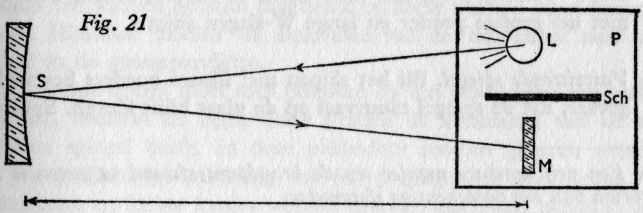
1. Als de zon schijnt, gaan we als volgt te werk: (fig. 19)
Leg de spiegel tegen een steun, zodat hij de zonnestralen ongeveer in de richting van de zon terugkaatst. Houd de spiegel goed nat en laat iemand met een wit blaadje (B) net zo lang zoeken tot daarop een scherp zonnebeeldje verschijnt. Meet dan met een stok of een touw de afstand S B; dit is de brandpuntsafstand.

Fig. 20



2. Als de zon niet schijnt, kan men op de volgende manier (niet zo nauwkeurig) de brandpuntsafstand bepalen.
Stel de spiegel (goed nat houden) op oogshoogte op, ga dicht bij de spiegel staan en houd een brandende zaklantaarn naast het hoofd. In de spiegel zien we nu een duidelijk beeld van de zaklantaarn. Ga nu langzaam achteruit en zorg daarbij, dat steeds het beeld van de lantaarn in de spiegel zichtbaar blijft.
Op een zekere afstand zien we geen beeld van de lantaarn meer, maar een egaal verlichte spiegel. Nu is de brandpuntsafstand *de helft* van de afstand S L.
(Gaan we nog verder naar achteren, dan zien we weer een (omgekeerd) beeld van het zaklantaarnlampje verschijnen).
3. De onder 2 beschreven methode kunnen we verfijnen, zodat de brandpuntsafstand zeer nauwkeurig te meten is. Dit is alleen in het laatste stadium van het slijpen van belang. Daarvoor polijsten we

Fig. 21



de spiegel ongeveer 10 minuten lang op een pekbodem, die we voor dit doel op een metalen of glazen plaat gieten (zie pag. 76). De droge spiegel reflecteert nu het licht vrij goed.

We stellen de spiegel weer op en zetten op een plankje P een lampje L (met enige merktekens op de oppervlakte) en een matglazen schermpje M. Het matglas staat gelijk met de merktekens op L.

Tussen het lampje en het matglas brengen we een kartonnen scherm (Sch.) aan om het matglas in het donker te houden.

Nu schuiven we het plankje P, met alles er op, net zolang naar achteren tot op het matglas 'n scherp beeld van de merktekens op het lampje komt.

De brandpuntsafstand van de spiegel is nu de *helft* van de afstand S L.*)

Moeilijkheden bij het slijpen

1. *Krassen.* Als er ondanks alle voorzorgsmaatregelen een grover korreltje carborundum of een korreltje van een ander hard materiaal met fijner poeder meeslijpt, ontstaat er een kras.

   Nu doet 'n enkele kras weinig afbreuk aan de optische kwaliteit van de spiegel; het is meer een schoonheidsfout.

   Naar gelang de diepte van de kras, is deze weg te slijpen met hetzelfde poeder waarmee men bezig is, of met een grover poeder (korte slagen). Het is beter krassen te voorkomen door het grondig reinigen van de spiegel, plaat en slijpbakje, vóór men met een fijner poeder begint.

2. *Scherpe randen, afbrokkelende randen.* De plaat krijgt gauw scherpe randen, omdat daar aan de rand meer glas wordt weggeslepen dan in het midden. Met een amarylsteen kan men er met de hand weer een schuin kantje aan slijpen. Dit voorkomt het loodrecht afbrokkelen van de glasrand.

   Deze voorzorgen behoeft men alleen te nemen, zolang men nog met het grofste poeder en lange W-slagen slijpt.

3. *Vastzittende spiegel.* Bij het slijpen met fijnere poeders bestaat het gevaar, dat de spiegel muurvast op de plaat blijft kleven. Spoelen,

---

*) *Een vrij kostbare manier om de brandpuntsafstand te meten is het gebruik van een nauwkeurige sferometer.*

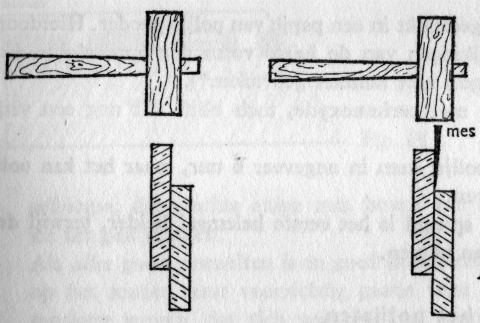


Fig. 22

heet water, spiritus etc. het helpt bijna nooit. Een tik met een houten hamer helpt dikwijls.
Als het werkelijk niet lukt, om de glazen schijven op deze manier van elkaar te krijgen, zit er niets anders op, dan een scherpe mesrand tussen de schijven te drijven. Meestal worden de glazen dan iets beschadigd, maar minder dan met veel te harde slagen van een houten hamer.
Men kan beter alle voorzorgen nemen om te voorkomen dat de spiegel vast blijft zitten:

1. Houd de spiegel niet stil tijdens het slijpen, en schuif ze met een draaiende beweging van de plaat af, als u ophoudt met slijpen.
2. Als het poeder geheel verbruikt en te droog is, bestaat groot gevaar voor vastzitten. Ververs het poeder tijdig en houd het nat. De speciale bewerking met poeder 800 vereist veel voorzichtigheid omdat men hier alleen werkt met water en verbruikt poeder.

3 Polijsten

Polijsten heeft tot doel de nog ruwe oppervlakte 'spiegelend glad' te maken.
Dit gebeurt niet door de heuveltjes weg te slijpen met fijn poeder. Tijdens het wrijven ontstaat plaatselijk en korte tijd een hoge temperatuur. Hierdoor 'vloeien' de moleculen van de 'heuveltjes' naar de 'dalen' in de glasoppervlakte.
Voor precisie-optiek moet men polijsten op een pekbodem: een plaat van pek, waarvan de oppervlakte precies de kromming van de te polijsten spiegel heeft. In deze pekbodem moeten gleuven zitten, die een gelijkmatige verdeling van het polijstpoeder waarborgen.
Brilleglazen en kleine lensjes worden meestal machinaal gepolijst op

een bodem van vilt, gedrenkt in een papje van polijstpoeder. Hierdoor ontstaan echter afwijkingen van de juiste vorm der oppervlakte die we bij telescoopspiegels niet kunnen gebruiken*).
Ook al polijsten we met ceriumoxyde, toch blijft dat nog een vrij langdurig karwei.
Een 11 cm spiegel polijst men in ongeveer 6 uur, maar het kan ook meer dan 10 uur duren.
Het midden van de spiegel is het eerste helemaal helder, terwijl de rand heel lang dof kan blijven.

De techniek van het polijsten

Het gieten van de pekbodem

1. Maak van rubber (oude binnenband van auto) een matje dat even groot is als de spiegel.

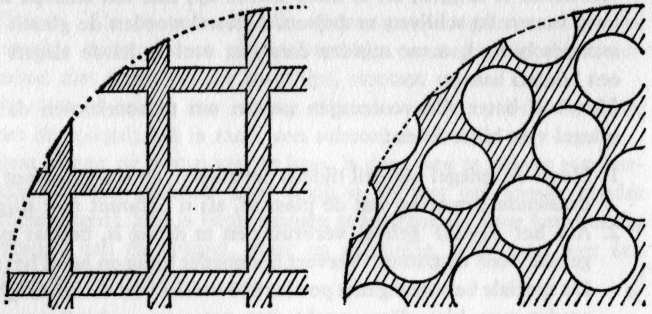


Fig. 23

Pons daar rondjes of vierkantjes in ter grootte van 1 cm met tussenruimten van ± 4 mm (zie figuur 23).

2. Maak de *plaat* los van het slijpplankje en maak de bolle kant vochtig met terpentijn.
Leg de *spiegel* met de holle kant naar boven en wrijf de spiegel en het rubbermatje in met een dun papje van polijstpoeder.
Leg het matje op de spiegel en plak rond de rand een kraagje van

*) *Het is ook mogelijk 'droog' te polijsten op een papierbodem. De plaat wordt dan beplakt met dik stencilpapier. Daarna wordt er polijstpoeder op gewreven. Dit geeft goede resultaten en gaat in het begin sneller. Toch geeft een pekbodem een fijner gepolijste oppervlakte en minder kans op krassen.*

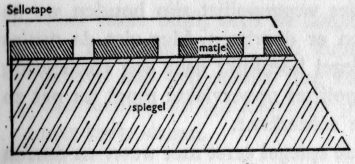


Fig. 24

sellotape, dat slechts enige mm boven het matje uitsteekt. Laat nu het pek smelten.

Als *alles* goed gesmolten is en goed doorgeroerd, giet dan het pek op het matje: eerst voorzichtig gaatje voor gaatje vol gieten en tenslotte zorgen, dat zich nog een heel dunne laag over de hele oppervlakte verspreidt. Neem nu de bolle plaat (nog vochtig van terpentijn) en druk die zachtjes en gelijkmatig op het pek.

Zorg dat er niet veel pek naar de zijkant geperst wordt. Houd alles nu onder de kraan zodat het pek hard kan worden. Trek dan het sellotape los en schuif de spiegel eraf. U heeft nu de plaat met pekbodem in handen. Het matje moet voorzichtig uit het pek getrokken worden, anders beschadigen we de opstaande ronde of vierkante noppen.

De plaat met pekbodem wordt nu weer tussen de blokjes op het slijpbakje vastgemaakt.

3. Het polijsten zelf gebeurt op ongeveer dezelfde wijze als het slijpen, met deze verschillen:
   — met korte slag;
   — het tempo der slagen is 2 maal zo hoog (2 slagen per sec.)
   — slechts enige keren behoeft het polijstpoeder vernieuwd te worden. We polijsten *niet met een papje* van polijstpoeder tussen pek en spiegel, maar met water dat tussen de gleuven zit en dat rose gekleurd is door de deeltjes polijstpoeder die erin zweven.
4. Als we het polijsten voor méér dan een uur onderbreken, spoelen we de spiegel schoon en drogen hem af. Ook de pekbodem wordt afgespoeld en horizontaal liggend weggeborgen met een kartonnen doos er overheen om hem stofvrij te houden.

   Als we opnieuw beginnen te polijsten, wordt eerst de spiegel met een dun papje van polijstpoeder ingewreven en daarna op de pekbodem gelegd. Leg daarna een half uur lang een zwaar boek op de spiegel, zodat de pekbodem (die uit zichzelf vervormd is) weer nauwkeurig de vorm van de spiegel aanneemt.

5. Om te controleren of alle putjes weggepolijst zijn houden we de spiegel tegen het licht en kijken er doorheen. Men ziet de putjes het beste als men door de spiegel heenkijkt naar een afscheiding tussen licht en donker. De gepolijste oppervlakte moet nu net zo gaaf zijn als de niet bewerkte achterkant.
Als dit in orde is, reinigen we de spiegel eerst met water en daarna met spiritus.

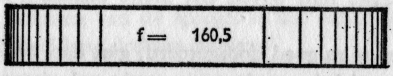


Fig. 25

Dan gaan we de brandpuntsafstand nauwkeurig meten (in de meeste gevallen is die door het polijsten enige cm korter geworden) en schrijven deze met O.I. inkt op de rand b.v.: f = 160,5.
en bergen de spiegel op.
Hij is nu klaar om verzilverd te worden.

Moeilijkheden bij het polijsten

1. De pekbodem loopt dicht.
Dan was het pek te zacht en/of de druk te hard. Met een heet mes, gedoopt in zeepsop, kunnen we er nieuwe gleuven in snijden. Of we verwijderen het oude pek met een mes en gieten een nieuwe pekbodem.
2. Er zijn krassen op de spiegel gekomen. Dat is niet nodig bij zorgvuldig werken (een werkbank zonder korreltje slijppoeder). Een ondiep krasje polijst vanzelf weg. Een enkele kras vermindert de kwaliteit van de spiegel niet. Zijn er echter veel krasjes die niet verdwijnen, dan moeten we de pekbodem verwijderen en weer met poeder 1200 gaan slijpen.
3. De pekbodem wil de vorm van de spiegel niet aannemen.
Het pek is dan vrij hard. Leg de pekbodem even in gloeiend heet water en druk daarna een stuk (goed schone) jute op de pekbodem. Verwijder vezeltjes, die in het pek mochten kleven en leg er nu (terwijl de pek nog warm is) de spiegel op (ingewreven met een papje polijstpoeder).
Leg op de spiegel een zwaar boek. Na een half uur heeft de pekbodem de vorm van de spiegel weer aangenomen.
4. De rand wordt snel helder, het midden blijft dof. Slijp dan opnieuw met 800 en zorg dat de pekbodem goed de vorm van de spiegel aanneemt (dit komt zelden voor).

5. Veel vaker blijft, zelfs na langdurig polijsten, de rand dof. Is het een heel smal randje, dan kunnen we dit na het verzilveren afdekken met een smalle ring zwart papier. Is de rand erg groot, dan moeten we opnieuw met poeder 800 gaan slijpen ± 20 min. met korte slagen.

4 Bolle spiegels en lenzen

Uit het voorgaande is duidelijk, dat we tegelijk met de holle ook een bolle spiegel slijpen. Hebben we een bolle spiegel nodig, dan gieten we de pekbodem op de holle spiegel. Het polijsten gaat verder op precies dezelfde wijze.
Tijdens het slijpen vinden we de brandpuntsafstand van de bolle spiegel door die van de holle te meten (de krommingen zijn immers gelijk)

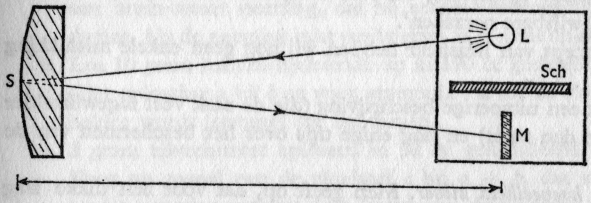


Fig. 26

Bij de bepaling van de definitieve brandpuntsafstand van de bolle spiegel (als deze afgepolijst is) gaan we te werk zoals op blz. 73 beschreven is. We houden de bolle spiegel met de bolle kant van de lamp afgekeerd en meten de afstand van het lampje tot de spiegel. De brandpuntsafstand is nu 3/4 SL (niet $\frac{1}{2}$ SL want de lichtstralen worden door de vlakke voorkant nog twee maal van richting veranderd).
Deze brandpuntsafstand noteren we met O.I. inkt op de zijkant. Lenzen worden begrensd door sferische vlakken. Hoe deze te slijpen zijn, is duidelijk uit al het voorgaande. Eerst wordt één kant helemaal afgewerkt (geslepen en gepolijst) en tegen beschadiging beschermd door er papier op te plakken. Daarna wordt de andere kant afgewerkt. Deze methode levert lenzen, die aan hoge eisen voldoen. Voor lenzen kleiner dan 4 cm is deze methode omslachtig en tijdrovend.

Het verzilveren

De geslepen spiegel kan men bij of via een plaatselijke glashandel voor enige guldens laten verzilveren. Wel moet men dan goed uitleggen, dat niet de achterkant maar de gepolijste voorkant verzilverd moet worden en dat er geen beschermende laklaag op moet worden aangebracht.

Als men meer dan één spiegel wil verzilveren, loont het de moeite om het zelf te doen.

Natuurlijk is het beter de spiegel te laten veraluminiseren, maar dat kost ca. 10 maal zoveel als verzilveren.

In 1835 ontdekte Liebig het principe van het verzilveren van glazen spiegels.

Na Liebig hebben velen recepten opgesteld voor het verzilveren.

Een van de geschiktste voor de amateur is wel het recept van Brashear (1880), omdat de voorgeschreven temperatuur zo laag is.

Menigeen wordt afgeschrikt als hij glas wil gaan verzilveren door de ontmoedigende opmerking bij vele recepten: 'Het mislukt wel eens zonder aanwijsbare oorzaken'.

Met dit recept van Brashear hebben wij nog geen enkele mislukking gehad.

Hier volgt een uitvoerige beschrijving (die de zaak veel ingewikkelder doet lijken dan ze is) en nog enige tips over het beschermen van de zilverlaag.

Benodigde hoeveelheid zilver. Men geeft op, dat voor een dikke laag zilver 3 gram zilvernitraat per dm^2 nodig is. Als men echter rond de rand van de spiegel een opstaand randje van sellotape of iets dergelijks maakt, zodat de vloeistof alleen op de spiegel komt, heeft men per dm^2 ongeveer 0,5 gram zilvernitraat nodig. Dit is een aanmerkelijke besparing, want zilvernitraat kost f 1,60 à f 2,— per 10 gram.

Mislukkingen zijn absoluut te voorkomen als men:

1. Het glasoppervlak grondig met salpeterzuur schoonwrijft.
2. Chemisch zuivere stoffen gebruikt.
3. De temperatuur liefst 15° en niet hoger dan 18° C houdt.

Schoonmaken. Maak de oppervlakte goed vetvrij met spiritus. Wrijf daarna de hele oppervlakte goed schoon met watten gedrenkt in sterk salpeterzuur (elk deel van de spiegel moet bewerkt zijn; flink met druk wrijven). Bij deze reiniging rubber-handschoenen aandoen. Afspoelen met gedistilleerd water. Zorgvuldig met watten inwrijven met een 2% oplossing van tinzout.

Afspoelen met gedistilleerd water. Nu snel de opstaande rand drogen en een kraagje van sellotape erop plakken; dan een laagje gedistilleerd water erop gieten. Dit laatste erop laten staan; de spiegel mag nu niet meer droog worden vóór hij verzilverd is.

De oplossingen. De hier opgegeven hoeveelheden zijn alleen bedoeld om de juiste verhoudingen der stoffen aan te geven.

1. De reductieoplossing: 90 gram suiker
   4 cc sterk salpeterzuur
   175 cc pure alkohol
   1 liter gedistilleerd water.
   De suiker, het salpeterzuur en het water kookt men een kwartier. Als de oplossing afgekoeld is, voegt men de alkohol toe. Deze oplossing is onbeperkt houdbaar.
2. De zilveroplossing.
   a. Los 20 gram zilvernitraat op in 300 cc gedistilleerd water. Voeg daarna druppelsgewijze sterke ammonia toe. Eerst ontstaat een bruin-zwart neerslag, dat bij verdere toevoeging weer verdwijnt. Als de neerslag juist verdwenen is, is deze oplossing klaar.
   b. Los 10 gram kalium-hydroxide op in 190 cc gedistilleerd water. Giet oplossing *a* bij *b* en voeg ammonia toe tot de vloeistof weer helder wordt (strogeel tot lichtbruin).
   c. 2 gram zilvernitraat oplossen in 30 cc gedistilleerd water. Voeg nu zoveel van de vloeistof *c* bij $a + b$, dat er juist een bruine neerslag ontstaat (dit laatste om de vloeistof te verzadigen met zilvernitraat).
   Filtreer nu $a + b + c$. Deze zilveroplossing is nu klaar voor het gebruik. Ze kan niet bewaard worden.

Het verzilveren. Voor elke gram zilvernitraat die in de zilveroplossing $(a+b+c)$ zit, hebben we 6 cc van de reductie-oplossing nodig.
We gieten het gedistilleerd water van de spiegel af en gieten meteen beide vloeistoffen tegelijk op de spiegel (zie fig.)
We kunnen ook eerst beide vloeistoffen samenvoegen en dan op de spiegel gieten. We houden nu de

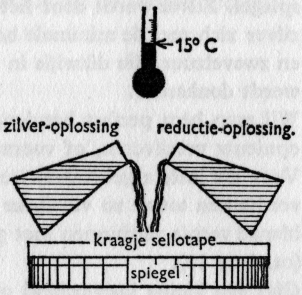


Fig. 27

vloeistof voortdurend zachtjes in beweging. Na een halve minuut ontstaat er een zwarte troebeling.
Als we na drie minuten de nu donkere vloeistof wat opzij blazen, zien we de zilveraanslag al duidelijk op de spiegel.
Giet dan nog gedistilleerd water in de troebele vloeistof, zodat de hoeveelheid vloeistof drie × zo groot wordt. Na 10 minuten slaat zeker geen zilver meer neer. Spoel de spiegel af onder de kraan. Daarna met gedistilleerd water.
Zet de spiegel rechtop weg om te drogen (onderaan komt nog wat water samen; neem dit weg met een vloei).
Een mooiere zilverlaag krijgt men, wanneer het verzilveren in etappes gebeurt.
Verdeel daarvoor de benodigde reductie-oplossing in twee gelijke delen. Verzilver nu twee maal achter elkaar, telkens 3 minuten.
Soms moet men langer, soms korter wachten; dit hangt af van kleine verschillen in concentratie en temperatuur.
In ieder geval moet de tijd zo lang genomen worden, dat er duidelijk een zilverneerslag te zien is.
Dan de vloeistof afgieten, even spoelen met gedistilleerd water, dan direct de volgende hoeveelheid erop.
Hier zit het volgende achter: de eerste neerslag is altijd het mooiste en er is ook minder kans, dat zich bezinksel vastzet.

Polijsten en lakken. De zilverlaag ziet er nu dof uit. Na 24 uur is de laag hard genoeg om gepolijst te worden. Neem een heel zacht stukje zeemleer, doe dat om een propje watten, of neem een propje watten zonder meer; strooi een beetje heel fijn Parijs Rood op het zeemleer en wrijf zachtjes met cirkelvormige bewegingen over elk deel van de spiegel. Zilver wordt door het 'weer' aangetast. In feite verbindt het zilver zich met de minimale hoeveelheden zwavelwaterstof, ammoniak en zwavelzuur, die dikwijls in de atmosfeer aanwezig zijn: de spiegel wordt donkerder.
Wil men hem perfect houden, dan moet men hem ca. 4 × per jaar opnieuw verzilveren, of voorzien van een beschermende laag.
Voor dit laatste gebruiken we blanke vernis die we met amylacetaat verdunnen tot ze zo vloeibaar is als water (ca. 1 op 8). U kunt ook blanke vernis verdunnen met gewone thinner die de schilder gebruikt (ca. 1 op 10).
Giet een kleine hoeveelheid op de zilverlaag en blijf draaien, tot de hele oppervlakte bedekt is. Zorg vooral, dat er geen stofje op de spiegel

komt! Zet de spiegel rechtop te drogen en laat het overtollige afdruipen. Deze laag beïnvloedt de optische kwaliteiten praktisch niet en de zilverlaag blijft jaren goed.

De dikte der zilverlaag. Een dunne zilverlaag (men kan dan nog een helder verlicht raam door de spiegel heen zien) kaatst maar weinig minder licht terug dan een dikke ondoorzichtige laag. Een dunne laag is dus voldoende en een dikke beter.

Een ander recept

Alle voorbereidingen vermeld onder: *schoonmaken* zijn hetzelfde. Het voordeel van de volgende methode is, dat de oplossingen jarenlang houdbaar zijn.

Oplossing 1:	Oplossing 2:
500 gr. gedistilleerd water	500 gr. gedistilleerd water
15 gr. 5% ammoniak	10 gr. seignettezout
5 gr. zilvernitraat	10 gr. gewone suiker
	2 gr. zilvernitraat

We schudden elk van deze opllossingen, laten ze 24 uur staan en filtreren ze daarna. De heldere oplossingen worden in bruine flessen bewaard. Gebruik voor het verzilveren steeds evenveel van oplossing 1 als van oplossing 2.
De gunstigste temperatuur voor dit procedé is 20° C. Zorg dan ook dat de vloeistoffen en het glas deze temperatuur hebben; als u een spiegel onder de kraan afspoelt moet u erop rekenen dat de temperatuur van de buitenkant van het glas enige graden daalt!
Het afwerken gebeurt op dezelfde wijze als bij het eerste recept.

Hoofdstuk 6 Wij bouwen een Kutter-telescoop

In hoofdstuk 3 zagen we hoe we een eenvoudig brillenglaskijkertje kunnen bouwen. De effectieve objectiefmiddellijn kan dan niet veel groter zijn dan 2 cm. We kunnen een achromatisch objectief kopen (tot en met een middellijn van 6 cm zijn deze nog niet buitensporig duur) en daarmee een heel respectabele kijker bouwen. Wie echter een grotere objectiefmiddellijn wil hebben, zal zelf een spiegeltelescoop moeten bouwen. Hij kan dan voor betrekkelijk weinig geld een kijker bouwen, die anders financieel volkomen buiten zijn bereik zou liggen. Wij hebben onze keuze laten vallen op een Kutter-telescoop. Deze is lichter en korter van bouw dan een Newton-telescoop met dezelfde objectiefmiddellijn en brandpuntsafstand en geeft een contrastrijker beeld.

Het is al lange tijd de gewoonte dat men als objectiefmiddellijn van zijn eerste Newton-telescoop 15 cm koos. Omdat echter een Kutter-telescoop (in tegenstelling tot de Newton-telescoop) hetzelfde presteert als een allerbeste lenzenkijker (met een apochromatisch objectief) is voor de standaarduitvoering van de Kutter-telescoop een objectiefmiddellijn van 11 cm gekozen. Een lenzenkijker met een 11 cm objectief is onder amateurs een zeer kostbaar en schaars voorkomend instrument!

De hoofdspiegel is hol en heeft een brandpuntsafstand van +162 cm. De bolle vangspiegel heeft een middellijn van 5,5 cm en een brandpuntsafstand van —162 cm. We slijpen en polijsten deze zoals in hoofdstuk 5 beschreven is. We krijgen een volmaakt optisch stelsel als we deze spiegels, die sferisch moeten zijn, testen en corrigeren zoals in hoofdstuk 8 beschreven wordt. Wie echter de in hoofdstuk 5 aangegeven werkwijze nauwkeurig volgt, zal spiegels krijgen die niet veel van de sferische vorm afwijken. Het is onze ondervinding, dat u ook zonder testen en corrigeren een heel bruikbare kijker krijgt. Later kunt u natuurlijk (en wij raden dit ook sterk aan) de spiegels uit de kijker nemen en het moeizamere werk van testen en corrigeren beginnen.

Als de brandpuntsafstand van de beide spiegels 1 à 2 cm van de opgegeven waarde afwijkt, zal dit in het algemeen weinig invloed hebben op de optische kwaliteit van het stelsel, maar wel verandert de ligging van het brandpunt. Dit kan moeilijkheden geven bij de

bouw van het instrument; in ieder geval meer moeilijkheden dan het zo nauwkeurig mogelijk aanhouden van de opgegeven brandpuntsafstanden.

1 De bouw van een 11 cm Kutter-telescoop

In fig. 28 is een schema van de 11 cm Kutter-telescoop getekend, met de juiste maten erbij. Het is de bedoeling dat u deze figuur op ware grootte tekent.

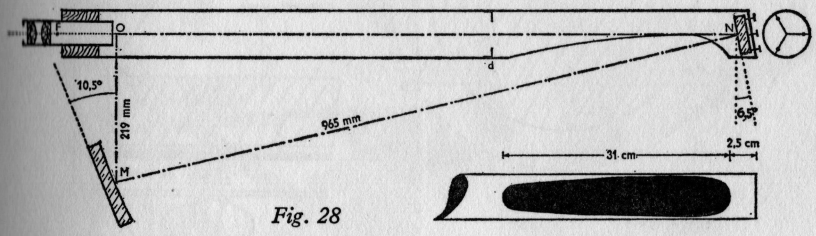


Fig. 28

We gaan daarbij uit van de driehoek MNO, waarvan MN = 965 mm, MO = 219 mm en $\angle O = 90°$.
M en N zijn de middelpunten der spiegels. F is het brandpunt van het stelsel. Verder moet de hoek, die de hoofdspiegel met MO maakt $10\frac{1}{2}°$ zijn en de hoek die de vangspiegel met de verticale lijn maakt is $6\frac{1}{2}°$.
Alleen deze maten zijn bindend. Alle maten die verder opgegeven worden, kan men wijzigen.
Als we nu zorgen, dat onze spiegels op de plaats komen waar ze in onze grote tekening staan, dan is aan alle eisen voldaan.
Het is nog nodig te weten, dat NF (zie fig.) 110 cm is.
Als de spiegels van de opgegeven brandpuntsafstanden afwijken, verandert alleen de lengte NF.
De brandpuntsafstand van het hele stelsel wordt 272 cm, zodat het primaire beeld van de maan reeds een middellijn heeft van $\pm$ 23 mm!

De spiegelvattingen (figuur 29). Deze maken we van $1\frac{1}{2}$ à 2 mm dik aluminium. Trek een cirkel met een straal gelijk aan de straal van de spiegel + de glasdikte + 4 mm. Construeer hierin een gelijkzijdige driehoek ABC. Deze driehoek zagen of knippen we uit de aluminiumplaat. We plakken dunne stukjes zeemleer of kunstleer in het centrum en aan de drie punten (zie gestippelde delen in de figuur).

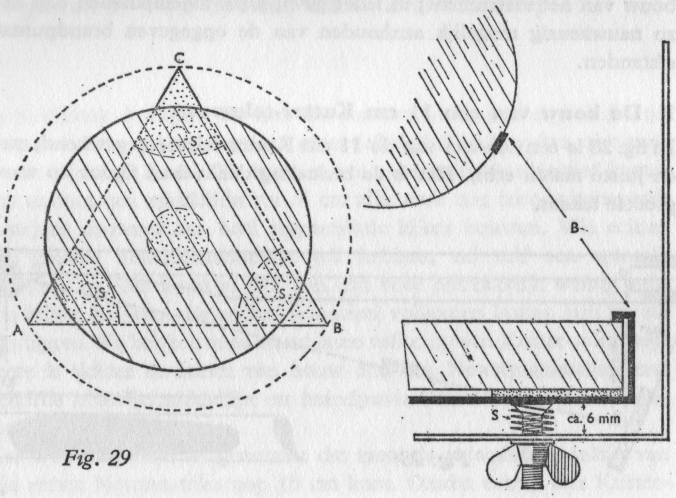
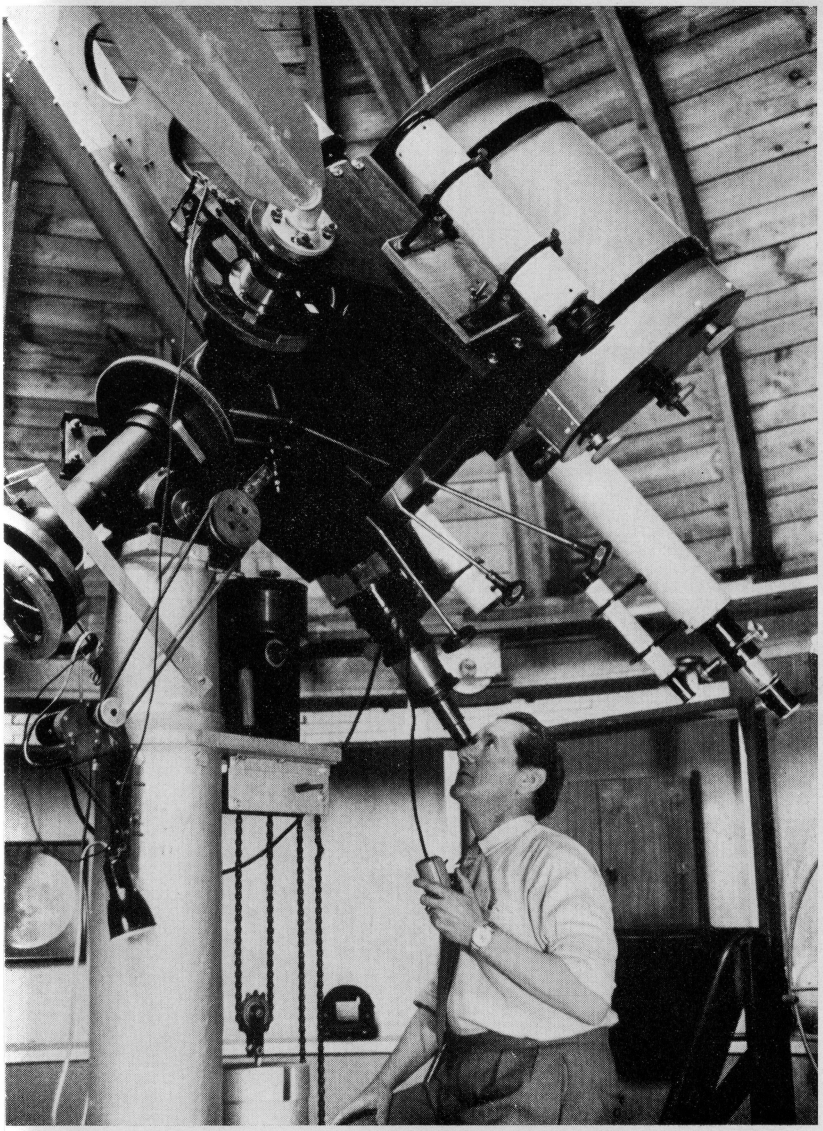


Fig. 29

Nu leggen we de spiegel op de driehoek en buigen de punten naar boven. Met het ombuigen van de kleine puntjes over de spiegel wachten we nog. Eerst kijken we of we deze puntjes nog kunnen inkorten: ze mogen maar 2 mm over de spiegel heensteken. Verder vijlen we de puntjes dunner zodat ze soepeler ombuigen. Daarna bevestigen we drie korte bouten op de aangegeven plaatsen (s). Slijp daarvoor de kop goed vlak en lijm ze met metaallijm op het aluminium. Nu pas leggen we de spiegel er weer in en buigen de puntjes om.
Dit alles geldt zowel voor de grote als voor de kleine spiegel.

De lange kijkerbuis (figuur 28). De buis, liefst naadloze aluminiumpijp, heeft een binnendiameter van 6,5 à 7 cm, en een wanddikte van 1 à 2 mm. Lengte ongeveer 1 meter. De langwerpige opening, waardoor het licht dat van de hoofdspiegel komt op de vangspiegel moet vallen, is 31 cm lang. De grootste breedte ligt 9 cm van de opening

Enige deelnemers aan een slijpcursus van de volkssterrenwacht SIMON STEVIN wisselen tijdens de pauze ervaringen uit.
Polijsten. Het is beter de vingers niet over de bovenste spiegel heen te laten komen, anders verwarmt men plaatselijk de pek en het glas, zodat vervormingen kunnen optreden.



die het dichtste bij de vangspiegel ligt. En daar is de opening nog even kleiner dan de middellijn van de buis. Teken de vorm van de opening op de buis en zaag hem uit met een klein los ijzerzaagje (een geduldwerkje, omdat men met het losse zaagje weinig kracht kan zetten). Het is beter de opening wat krap te nemen, de buis blijft dan steviger. Later kan men altijd nog iets afvijlen, als blijkt dat de rand van de opening iets van de lichtbundel onderschept. Bij d, even voorbij de opening komt een diafragma met een opening van ca. 4 cm middellijn. Aan de kant van de vangspiegel zagen we de buis schuin af, zodat hij van boven 1 cm korter is dan aan de kant waar de lange ovale opening zit. Dan maken we de buis dicht met een aluminium plaatje waarin we tevoren drie gaatjes hebben geboord op de plaats waar de drie schroeven van de spiegelvatting komen. Deze gaten moeten ruimer zijn dan de bouten maar kleiner dan de stukjes drukveer, die tussen de spiegelhouder en het aluminium dekplaatje komen.

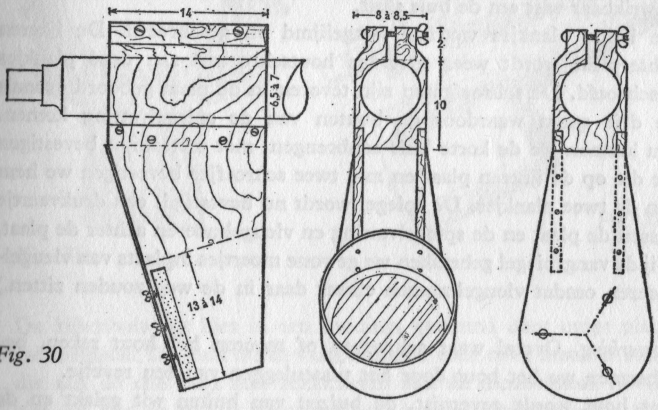


Fig. 30

De bevestiging van de hoofdspiegel. Fig. 30 toont het zijaanzicht, voor-aanzicht en achteraanzicht van de verbinding van de hoofdspiegel met de buis. Deze bestaat uit een houten blok met een gat erin, twee plankjes en een ijzeren achterplaat van 1,5 à 2 mm dik (deze is goed te zien op het achteraanzicht). Het korte stuk buis dat de hoofdspiegel beschermt, dient ook als dauwkap voor de hoofdspiegel, maar draagt de spiegel niet; dat doet de ijzeren plaat. Voor deze buis kan men evt.

Ir. Anton Kutter, de uitvinder van het naar hem genoemde telescooptype aan de 30 cm Kutter-telescoop van zijn eigen sterrenwacht te Biberach.

een blikken bus nemen met een binnendiameter van 13 à 14 cm. Voor we dit alles gaan maken tekenen we het eerst op ware grootte op onze schema-tekening. We kunnen de maten dan ook aanpassen aan het beschikbare materiaal. Het is alleen van belang, dat onze spiegels op de juiste afstand van elkaar komen, en dat de hoek die de hoofdspiegel met de kijkeras maakt $10\frac{1}{2}^\circ$ is.
Voor het hout nemen we eiken. Het is gemakkelijk als de timmerman het blok voor ons maakt en het gat erin boort. Als we het zelf moeten doen, is het beter het blok op te bouwen uit eiken plankjes die we in de juiste vorm zagen en waarin we ook het gat zagen. De houten klos ontstaat dan door het samenlijmen der plankjes.
Het gat moet een middellijn hebben die ca. 2 mm groter is dan onze buis. We leggen dan in de binnenkant een dun stuk kunstleer, zodat we de kijkerbuis niet beschadigen. Door twee bouten met moer wordt de zaagsnede boven in het blok dichtgedrukt, zodat het blok onwrikbaar vast om de buis sluit.
De beide plankjes worden vastgelijmd en geschroefd. De ijzeren achterplaat wordt weer met zes houtschroeven aan deze plankjes geschroefd. De schroefgaten zijn tevoren in de plaat geboord evenals de drie gaten waardoor de bouten van de spiegelvatting komen. Nu kunnen we de korte buis aanbrengen; met metaallijm bevestigen we die op de ijzeren plaat en met twee schroefjes bevestigen we hem aan de twee plankjes. De spiegel wordt nu bevestigd: een drukveertje tussen de plaat en de spiegelvatting en vleugelmoeren achter de plaat. (Bij de vangspiegel gebruiken we gewone moertjes inplaats van vleugelmoeren omdat vleugelmoeren elkaar daar in de weg zouden zitten.)

Afwerking. Overal waar schroeven of moeren het hout raken, beschermen we het hout door het tussenleggen van een revetje.
Het hout wordt gevernist, de buizen van buiten wit gelakt en de schroeven en moeren, voorzover ze niet van koper zijn of verchroomd zijn, worden geverfd.
Als we schroeven in het hout draaien boren we eerst het grootste gedeelte van het gat voor en vetten de schroef in.
De binnenkant van de buizen wordt matzwart geverfd.

Een andere wijze van bevestiging van de hoofdspiegel aan de kijkerbuis is weergegeven in figuur 31. De moeilijkheid een groot gat in een zwaar blok hout te krijgen is hierbij vermeden, terwijl het geheel ook lichter is.

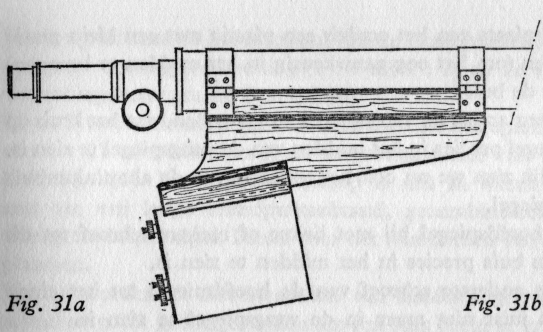


Fig. 31a

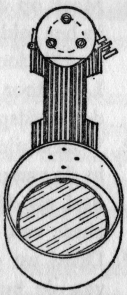


Fig. 31b

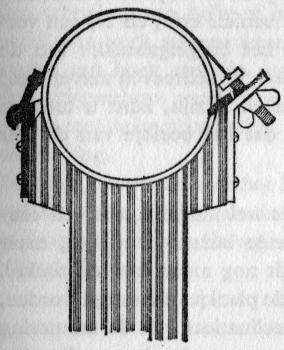


Fig. 31c

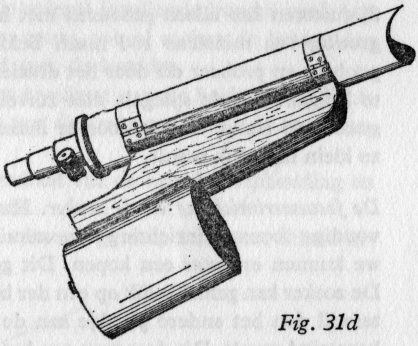


Fig. 31d

De kijkerbuis ligt hier in een ronding, gevormd door enige plankjes meubelplaat. De buis wordt vastgehouden door twee metalen banden, die aan de ene kant met scharnieren aan de meubelplaat bevestigd zijn, en aan de andere kant met behulp van vleugelmoeren strakgetrokken kunnen worden.
Figuur 31*d* geeft een perspectivische schets. Figuur 31*a* en 31*b* respectievelijk zijaanzicht en vooraanzicht. In figuur 31*c* ziet u duidelijker de opbouw van het houten gedeelte uit meubelplaat en de bevestiging van de banden.

Het justeren der spiegels. Dit gaat als volgt:

1. Span over de hoofdspiegel twee wollen draden loodrecht op elkaar (een der draden is de meridionale doorsnede).

Maak op de plaats van het oculair een plaatje met een klein gaatje in het midden (om het oog nauwkeurig in het midden te brengen) en kijk door de buis.

Laat door een ander de vangspiegel zo verstellen, dat het kruis op de hoofdspiegel precies in het midden van de vangspiegel te zien is.

2. Waarschijnlijk zien we nu ook het uiteinde van de aluminiumbuis in de vangspiegel.
   Stel nu de hoofdspiegel bij met linker of rechter schroef tot dit einde van de buis precies in het midden te zien is.
3. Draai nu de onderste schroef van de hoofdspiegel tot het einde van de buis juist niet meer in de vangspiegel te zien is.

Deze justering brengt de spiegels al vrij goed in de juiste stand. Het fijnjusteren kan alleen gebeuren met het oculair erin, en bij een vergroting van minstens 100 maal. Bekijk het buigingsbeeldje van de poolster en probeer dit door het draaien aan de schroeven zuiver rond te krijgen. Als de spiegels niet zuiver sferisch zijn, kunt u toch de gunstigste stand vinden door te maken dat het beeldje van de ster zo klein mogelijk wordt.

De focusseerinrichting en de zoeker. Het is wel mogelijk zelf een eenvoudige focusseerinrichting van schuivende buizen te maken, maar we kunnen er beter een kopen. Dit geldt nog meer voor de zoeker. De zoeker kan gemakkelijk op een der beide plankjes bevestigd worden, terwijl dan het andere plankje aan de declinatieas van de montering bevestigd wordt. Dit doet men pas het laatste, omdat deze as door het zwaartepunt van de kijker moet gaan. En dat kan men pas bepalen als ook de zoeker gemonteerd is. (zie foto's op blz. 69 en 124).

Bescherming tegen het weer. Met een papieren koker sluiten we de opening in de buis af, als we de kijker niet gebruiken; en met een deksel de korte buis van de hoofdspiegel.

2 Het principe van de Kutter-telescoop

De Kutter-telescoop heeft evenals de Cassegrain-telescoop een holle hoofdspiegel en 'n bolle vangspiegel.

Bij de Kutter-telescoop vallen de hoofdassen der spiegels niet samen, maar maken een hoek met elkaar.

De spiegels van de Cassegrain-telescoop zijn steeds bepaalde combinaties van omwentelingsfiguren van parabool, ellips en hyperbool, terwijl de Kutter-telescoop in principe alleen sferische spiegels gebruikt.

Verder geeft men de hoofdspiegel van de Cassegrain-telescoop meestal een grote openingsverhouding (1 : 3 tot 1 : 6) en de vangspiegel een vergrotingsfactor tussen 2 en 4 maal.
Bij de Kutter-telescoop heeft de hoofdspiegel een openingsverhouding van 1 : 12 of minder en is de vergrotingsfactor van de vangspiegel klein ($\pm$ 1,7). De Kutter-telescoop is dus in wezen een telescoop met een vrij lange brandpuntsafstand, gecombineerd met een niet al te grote bouwlengte. Ideaal voor het waarnemen van de maan en de planeten.
Verder worden de kromtestralen van hoofdspiegels en vangspiegel zoveel mogelijk gelijk gehouden om een vlak beeld te krijgen (Petzval-voorwaarde).
Een scheef op een holle of bolle spiegel invallende bundel geeft een beeld met sterk astigmatisme en coma, ook al maken de lichtstralen slechts een hoek van één graad met de hoofdas.
Het astigmatisme groeit met het kwadraat van de hoek die de lichtstralen met de hoofdas maken en met de eerste macht van de openingsverhouding.
De coma groeit aan met het kwadraat van de openingsverhouding en met de eerste macht van de hoek.
In figuur 32 is een Cassegrain-systeem getekend met een scheef invallende bundel.

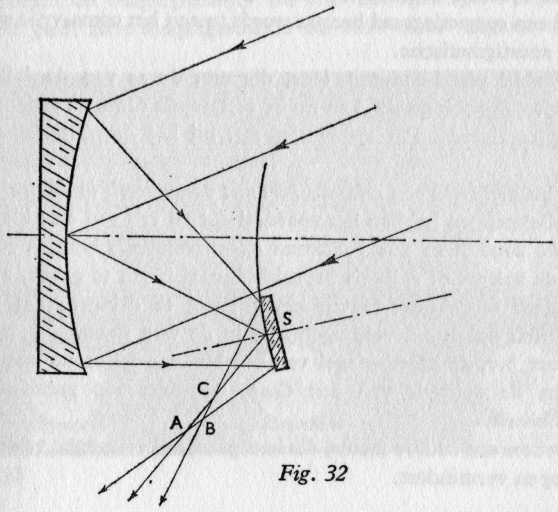


Fig. 32

Na weerkaatsing op de vangspiegel snijden de middenstraal en de randstralen elkaar niet in één punt, maar vormen de coma-driehoek ABC.
Het astigmatische effect is moeilijker te tekenen, omdat daarvoor een ruimtelijke figuur nodig is.
Laten we echter de vangspiegel om S draaien dan verdwijnt bij een bepaalde hoek eerst het astigmatisme en bij verder draaien ook de coma.
Het is echter niet mogelijk om alleen door het draaien van de vangspiegel gelijktijdig coma èn astigmatisme te corrigeren.
De bovenstaande theorie (die hier zonder afleidingen en berekeningen gegeven is) heeft geleid tot de volgende volkomen gecorrigeerde systemen:

Het anastigmatische systeem. Het astigmatisme wordt opgeheven door de helling der vangspiegel en de resterende coma door de openingsverhouding klein te nemen.

Het coma-vrije systeem. Hier wordt het resterende astigmatisme door deformatie van de vangspiegel weggewerkt.
Omdat de zeer bepaalde deformatie der vangspiegel alleen door slijpers met grote ervaring met succes kan worden volbracht, heeft Kutter nog een systeem ontwikkeld, waarbij door de helling van de vangspiegel een correctiegraad bereikt wordt tussen het coma-vrije systeem en het anastigmatische.
Een zwakke plano-convexe lens, die met de as van de kijkerbuis een bepaalde hoek maakt, kan nu de resterende coma en astigmatisme tegelijk corrigeren. Dit systeem noemt hij het *catadioptrische.*

Scheidend vermogen van spiegelkijkers met vangspiegels in de stralengang.
Spiegeltelescopen hebben het voordeel dat zij vrij van elke kleur-fout zijn; we zouden ze dus volkomen apochromatisch kunnen noemen.
Door de spiegel of spiegels bepaalde krommingen te geven, zijn ook de andere afbeeldings-fouten zover terug te dringen, dat zij het theoretisch oplossend vermogen niet in de weg staan.
Zo moet b.v. de hoofdspiegel van een Newton-telescoop parabolisch zijn en de spiegels van een Cassegrain-telescoop parabolisch en hyperbolisch.
Er is echter een andere factor, die het oplossend vermogen van spiegeltelescopen vermindert.

Bij alle typen — uitgezonderd de Kutter-telescoop — staat een tweede spiegel in de stralengang van de hoofdspiegel.
Bij de Newton-telescoop is dit een vlakke spiegel en bij de Cassegrain-telescoop een bolle spiegel. Dit vermindert niet alleen de hoeveelheid licht die de hoofdspiegel opvangt, maar vermindert ook het oplossend vermogen vooral bij uitgebreide objecten (maan- en planeten-oppervlakten). Het contrast wordt minder.
Er komt nog iets bij: deze vangspiegels kunnen niet in de lucht zweven; ze moeten op een of andere wijze bevestigd zijn aan de buis. Dit geeft nog een extra-vermindering van het oplossend vermogen, zoals we zullen zien.

Het buigingsschijfje en de buigingsringen. Een optisch stelsel zou een onbeperkt oplossend vermogen hebben, als een puntvormige lichtbron weer als een punt werd afgebeeld.
Dit is echter niet zo.
Een puntvormige lichtbron, b.v. een ster, wordt afgebeeld als een schijfje, omgeven door enige lichte en donkere ringen.
De grootte van dit buigingsschijfje hangt af van de middellijn van de hoofdspiegel.
Hoe groter deze middellijn, des te kleiner is het buigingsschijfje en daarom hebben kijkers met een grotere objectief-middellijn ook een beter scheidend vermogen, zoals we in hoofdstuk 4 reeds zagen.
We moeten dit buigingsschijfje nu eens nauwkeuriger bekijken.
Fig. 33 geeft zo'n buigingsschijfje ca. 1000 maal vergroot weer.

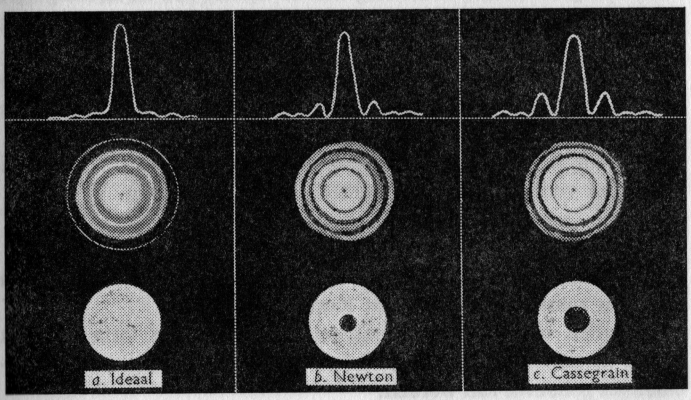


Fig. 33

Als het gevormd wordt door een lens of door een Kutter-spiegelpaar, wordt 84 % van het licht in het schijfje verenigd. De eerste lichte ring bevat 7 %, de tweede 3 %, de derde 1½ %. Boven het schijfje is dit grafisch voorgesteld: hoe hoger de piek, hoe meer licht.
Er is dus een groot contrast tussen het schijfje en de ringen. Praktisch vindt de afbeelding dan plaats met de fijne 'punten' van het schijfje. Dit is een ideale afbeelding.

Een spiegel in de stralengang. Als een spiegel in de stralengang wordt geplaatst, komt er minder licht in het buigingsschijfje en meer licht in de ringen.
Bij een Newton-telescoop komt 75 % in het schijfje en 25 % in de ringen.
Bij een Cassegrain-telescoop, die altijd een grotere vangspiegel heeft, ligt dit nog ongunstiger: 63 % komt in het buigingsschijfje en 37 % in de ringen.
Het gevolg is, dat de eerste ringen ook mee beginnen te spreken bij de afbeelding: i.p.v. een klein buigingsschijfje gaat een groter 'schijfje' de afbeelding verzorgen; dus de scherpte van de afbeelding, ofwel het scheidend vermogen, neemt af.
Dit is de reden waarom een Newton- en een Cassegrain-telescoop niet het theoretisch scheidend vermogen halen.
Ook de bevestigingsstrippen van de vangspiegel hebben invloed op de vorm van het buigingsbeeldje èn zij verminderen de helderheid van het buigingsbeeldje t.o.v. de ringen.
Zelfs een gedeeltelijke bedekking aan de zijkant van de hoofdspiegel schaadt de gaafheid van het buigingsbeeld en vermindert dus het scheidend vermogen.
Kutter heeft er daarom zorgvuldig voor gewaakt, dat bij zijn constructies de vangspiegel geheel buiten de op de hoofdspiegel vallende stralenbundel blijft.
Zo is voor de eerste maal de *spiegeltelescoop* uitgevonden, die, qua scheidend vermogen, de lenzentelescoop kan overtreffen.

3 Drie anastigmatische standaard-typen

In de eerste paragraaf hebben we alleen de constructie aangegeven voor een anastigmatische 11 cm Kutter-telescoop.
Hier zullen we de serie anastigmatische telescopen uitbreiden en tevens de catadioptrische behandelen, die met vrij wat groter spiegeldiameter gebouwd kan worden.

Kutter heeft voor hoofdspiegelmiddellijnen van 80 mm, 110 mm en 150 mm de gunstigste maten berekend (zie tabel op blz. 99.)
Hier zijn zowel hoofdspiegel als vangspiegel sferisch.
Hoewel het mogelijk is om anastigmatische systemen te berekenen met een hoofdspiegelmiddellijn die groter is dan 150 mm, is dit niet aan te raden. Bij 150 mm wordt de totale lengte van de kijker reeds ca. 1,70 m.
De 110 mm zouden we willen aanbevelen als het standaardtype voor de veeleisende amateur.
De 150 mm is dan al een zeer groot instrument.
Wie kleinere Kutter-telescopen bouwt met hoofdspiegelmiddellijnen van 80 mm of 60 mm, wil kennelijk een handig, klein, gemakkelijk verplaatsbaar instrument hebben.
Uit de 3 standaardtypen zijn door proportionele *verkleining* andere af te leiden.
Wil men nu een 60 mm Kutter-telescoop bouwen, dan vermenigvuldigt men alle maten (behalve de hoeken) van het 80 mm instrument met 60/80 (= 3/4).
Proportionele *vergroting* is niet geoorloofd. Men kan *géén* bevredigende maten vinden voor een 130 mm telescoop, door die van het 110 mm type met 13/11 te vermenigvuldigen!
Alvorens aan de bouw van het instrument te beginnen, doet men er goed aan een schematische tekening op ware grootte te tekenen.
Daartoe zet men eerst uit FN (=p') (zie fig. 34).
Trek daarna een lijn evenwijdig aan p' op een afstand $\triangle'$.
Cirkel e vanuit N om.
De cirkelboog snijdt de evenwijdige lijn in M. M en N zijn de middelpunten van hoofdspiegel en vangspiegel. F is het brandpunt van het stelsel.
Bij het bouwen van de kijker moet men rekening houden met de

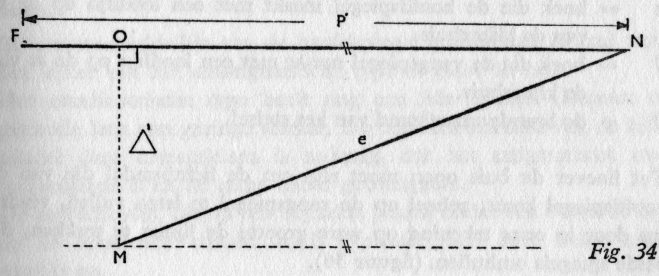


Fig. 34

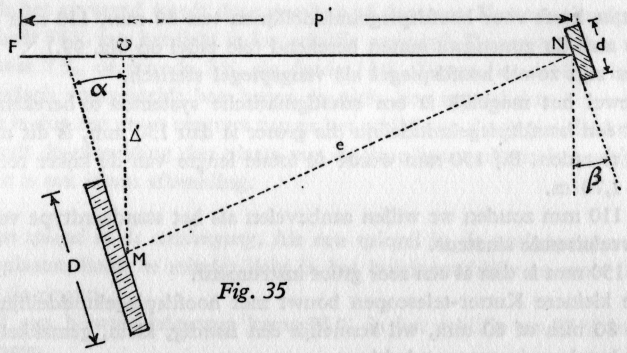


Fig. 35

hoeken α en β, die de spiegels met de loodlijnen op FN maken (zie figuur 35).
Deze hoeken zijn ook in de tabel hiernaast opgenomen.
Het is niet nodig de hoeken op de minuut nauwkeurig te tekenen.
Bij het justeren komen de spiegels vanzelf in de juiste stand: als driehoek MNO maar nauwkeurig in ons instrument aanwezig is.

Verklaring der tekens: (alle lengtematen in mm)

D = middellijn van de hoofdspiegel.
f_1 = brandpuntsafstand v/d hoofdspiegel (hol).
d = middellijn van de vangspiegel.
d' = maximale buitendoorsnede v/d kijkerbuis.
$-f_2$ = brandpuntsafstand v/d vangspiegel (bol).
p' = afstand van het brandpunt tot de vangspiegel.
e = afstand v/d middelpunten van beide spiegels.
$\triangle'$ = afstand van het midden der hoofdspiegel tot de as van de kijkerbuis.
α = hoek die de hoofdspiegel maakt met een loodlijn op de as van de kijkerbuis.
β = hoek die de vangspiegel maakt met een loodlijn op de as van de kijkerbuis.
F = de brandpuntsafstand van het stelsel.

Tot hoever de buis open moet zijn om de lichtbundel die van de hoofdspiegel komt, geheel op de vangspiegel te laten vallen, vinden we door in onze tekening op ware grootte de lijnen te trekken, die beide spiegels omhullen. (figuur 36).

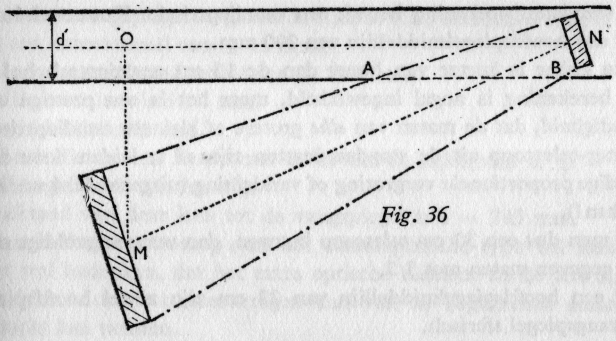


Fig. 36

D	80	110	150
f_1	960	1620	2550
d	40	55	70
d'	50	65	82
$-f_2$	1000	1620	2720
p'	698	1100	1781
e	548	965	1481
$\triangle'$	144	219	277
α	12°49′	10°30′	8°31′
β	8°6′	6°40′	5°23′
F	1600	2720	4300

Deze snijden de buis met de middellijn d' in A en B (figuur 36). Neem nu de lengte van de opening iets groter dan AB.

4 Het standaard-type voor de catadioptrische Kutter-telescoop.

Bij grotere middellijn van de hoofdspiegel (groter dan 15 cm) wordt een kijker van het anastigmatische type al gauw te lang.

Het catadioptrische type heeft nog een 3de optisch element: een platbolle lens van geringe sterkte. De correctietoestand van de kijker zonder deze correctielens is zodanig, dat het astigmatisme overgecorrigeerd is en de coma onder-gecorrigeerd.

De correctielens, die op een bepaalde plaats, onder een bepaalde hoek op de invallende stralen wordt geplaatst, heft deze beide fouten tegelijk op.

De standaardberekening betreft een catadioptrische Kutter-telescoop met een hoofdspiegelmiddellijn van 200 mm.
Deze kijker is korter van bouw dan de 15 cm anastigmatische!
De berekening is nogal ingewikkeld, maar het is een prettige omstandigheid, dat de maten van *elke* grotere of kleinere catadioptrische Kutter-telescoop uit de standaardmaten zijn af te leiden door eenvoudige proportionele vergroting of verkleining (uitgezonderd weer de hoeken!),
Wil men dus een 30 cm telescoop bouwen, dan vermenigvuldigt men alle gegeven maten met 3/2.
Tot een hoofdspiegelmiddellijn van 22 cm zijn zowel hoofdspiegel als vangspiegel sferisch.
Bij grotere middellijnen gaat de sferische aberratie van het systeem storend werken. Deze wordt opgeheven door alleen de hoofdspiegel 60 % parabolisch te maken.
Hiermee wordt bedoeld, dat men moet zorgen, dat de brandpunten van de randstralen en van de centrale stralen zóver van elkaar moeten komen, dat hun afstand 0,6 wordt van wat deze afstand is bij een paraboloïde (zie hiervoor hoofdstuk 8).
Hier volgen eerst de gegevens voor de hoofdspiegel en de vangspiegel.

D	200	$-f_2$	2530	α	15°
f_1	2400	p'	1725	β	9°4′
d	90	e	1365	F	4000
d'	100	$\triangle'$	425		

De correctielens is optisch glas met een gemiddelde brekings-index, (1,5) b.v. BK 7*) waarvan de brekings-index 1,517 is.

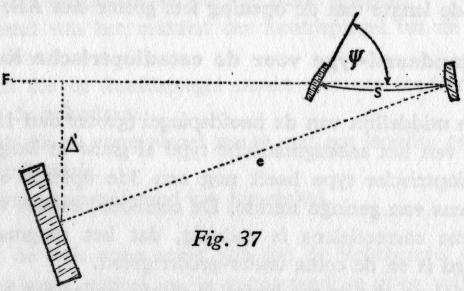


Fig. 37

*) *Het glas dat we voor de spiegels gebruiken is meestal ook voor de correctielens te gebruiken.*

De naar de vangspiegel toegekeerde zijde is vlak, de andere zijde is bol met een kromtestraal van ± 15 meter.
De brandpuntsafstand wordt dan ± 29 meter.
De dikte der lens is 6 à 7 mm.
De middellijn is 90 mm.
De hoek die de lens maakt met de as van de kijkerbuis is $\psi = 60° \pm 8°$ (regelbaar!) (zie fig. 37).
De afstand van deze lens tot de vangspiegel is $s = 745$ mm.
Wie een Kutter-telescoop van het catadioptrische type wil maken, moet wel bedenken, dat het extra optische element en de iets ingewikkelder bouw iets meer vragen dan van de beginnende amateur verwacht kan worden.
Nogmaals: een 11 cm telescoop is al een zeer waardevol instrument voor de amateur.
In ons klimaat met bijna altijd onrustige lucht is zelfs 15 cm al de maximale hoofdspiegelmiddellijn, die men gewoonlijk nog met vrucht kan gebruiken.

5 Een Newton-telescoop

Wie een Newton-telescoop wil bouwen kan het beste beginnen met een 10 cm spiegel met een brandpuntsafstand van 1 m (dus $f/10$). Als men de spiegel daarvan sferisch houdt, is er weinig verschil in oplossend vermogen vergeleken met een parabolische spiegel. Bij grotere openingsverhoudingen ($f/8$ of $f/6$) moet men de spiegel paraboliseren (zie hoofdstuk 8, blz. 135) anders is het beeld beslist slechs als men de optimale vergroting wil halen.
De bevestiging van de spiegel is precies hetzelfde als bij de Kutter-telescoop.
De montering van het prisma en de justering van de optiek vraagt enige uitleg.

Bevestiging van prisma of vangspiegel. In fig. 38 is voor- en zijaanzicht van het einde van de kijkerbuis getekend. De plaats van oculair en prisma is zodanig, dat het beeld door de spiegel gevormd, juist één cm buiten de kijkerbuis valt. Wil men met de kijker fotograferen dan moet het beeld verder buiten de kijkerbuis vallen. Het prisma is rechthoekig-gelijkbenig (ook een optisch spiegeltje van de grootte van het schuine vlak van het prisma kan gebruikt worden), de grootte van de vierkante vlakken is voor een 10 cm telescoop ca. 2 × 2 cm en voor een 15 cm ($f/8$) telescoop ca. 2,5 × 2,5 cm.

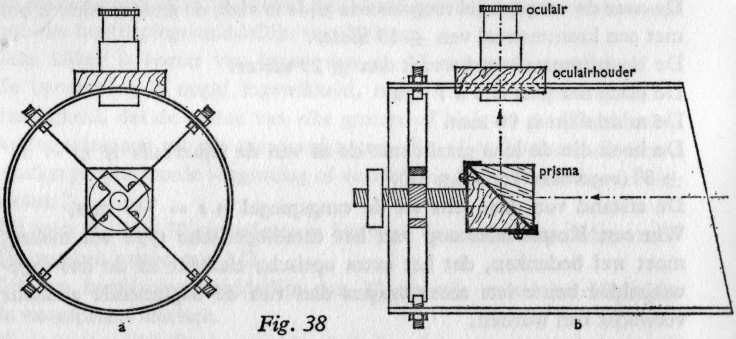


Fig. 38

De oculairhouder is van hout, waarin een kort schuifbuisje bevestigd is. Het prisma wordt gemonteerd op een blokje hout van dezelfde afmetingen als het prisma. In dit blokje hout wordt een schroef bevestigd. Deze bout gaat ook door een blokje hout waarvan de vorm in fig. 38*a* duidelijk te zien is.
Aan dit blokje worden 4 strippen bandijzer (ca. 2 cm breed) bevestigd. Op het einde van deze strippen worden kleine boutjes gesoldeerd. Deze schroeven gaan door korte sleufjes in de kijkerbuis, zodat de stand van het 'web' waarin het prisma opgehangen is veranderd kan worden.
De bout waaraan de twee houtblokjes bevestigd zijn, draagt ook nog een verzwaarde moer om evenwicht te maken met het prisma, zodat het in elke stand van de kijker op z'n plaats blijft.

Het justeren. Nu moeten we zorgen: *a.* dat het prisma precies in het centrum van de buis komt, *b.* dat de optische as van de spiegel samenvalt met de as van de kijkerbuis, *c.* dat het naar de spiegel toegekeerde

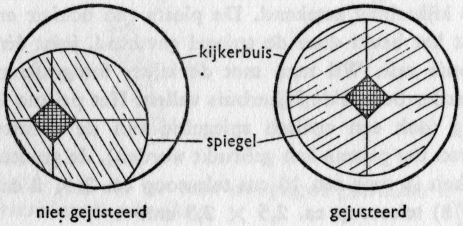


Fig. 39

vlak van het prisma evenwijdig met de spiegel loopt en, *d.* dat de optische as van het oculair loodrecht staat op de optische as van de spiegel.
a. meten we zo goed mogelijk uit, *d.* wordt verkregen door een nauwkeurige bouw van de oculairhouder.
Ga nu op enige meters afstand van de kijkerbuis staan, zodat u in de buis kunt kijken. U ziet dan waarschijnlijk het spiegelbeeld van het 'web' met het prisma, nàást het web zelf.
Laat een helper aan de stelschroeven van de spiegel draaien tot web en spiegelbeeld ervan samenvallen. (Met een oog kijken!) Daarna haalt u het oculair uit de oculairhouder en brengt een stukje karton met een gaatje van enige milimeters aan op de plaats van het oculair. Kijk daar doorheen. We moeten nu de hoofdspiegel in het midden van het prisma zien, verder de spiegel midden in de kijkerbuis en het 'web' met prisma midden in de spiegel (zie fig. 39). Is dit niet zo, dan moet het prisma versteld worden.

6 Een Newton-kijker als rich-field-telescoop

Het loont zeer de moeite een lichtsterke Newton-telescoop te bouwen, die alleen gebruikt wordt voor de minimale vergroting. De bedoeling is een groot gezichtsveld te verkrijgen en nevelachtige objecten zo helder mogelijk te zien

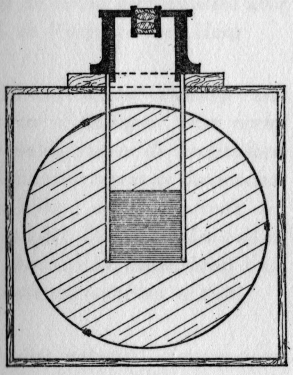


Fig. 40a

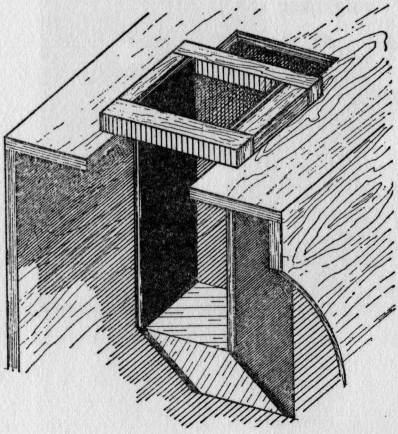
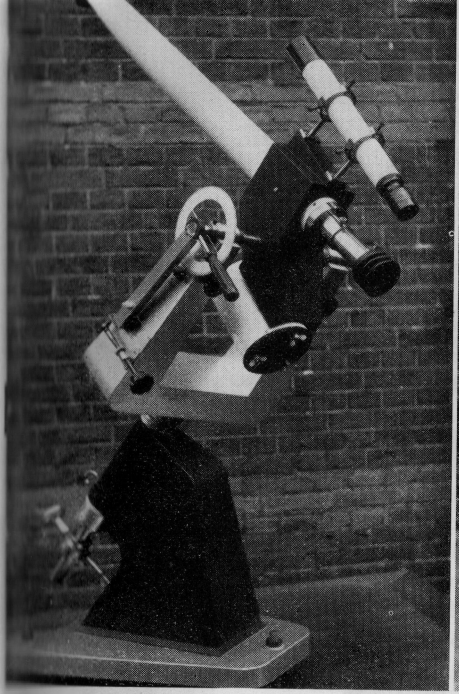
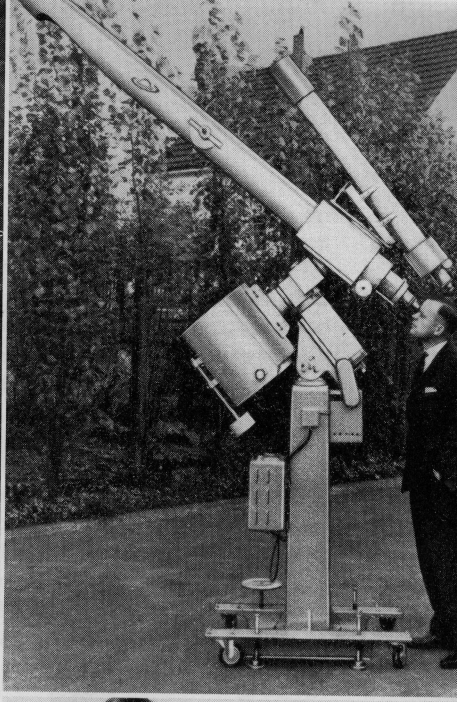


Fig. 40b

We slijpen daarvoor een spiegel met een openingsverhouding van f/4 of f/5. Deze spiegel kan sferisch blijven en aan de nauwkeurigheid worden geen hoge eisen gesteld omdat we alleen de minimale vergroting toepassen. (Wil men met zo'n grote openingsverhouding sterke vergrotingen toepassen, dan worden aan de spiegel juist zeer hoge eisen gesteld, elke afwijking van de paraboolvorm komt dan naar voren in geheel verwrongen sterbeeldjes).
Als we een spiegel van 11 cm ø nemen zal de brandpuntsafstand dus 44 of 55 cm moeten worden. En we zullen een oculair moeten kiezen dat daarbij een vergroting geeft van ca. 1/8 × 110 of ongeveer 14 maal. Het is voor ons doel belangrijk een groothoekoculair te gebruiken. In figuur 40*a* en *b* is voor deze telescoop een houten kijkerbuis genomen, waarbij de focussering gebeurt door het blok waaraan het prisma hangt (een raampje waarop het oculair bevestigd is, en twee metalen strippen om het prisma vast te houden, zie figuur 40*b*) heen en weer te schuiven. Figuur 40*a* geeft het vooraanzicht van de kijker. De instelbare spiegel is op dezelfde manier bevestigd als beschreven op bladzijde 86.
Een houten telescoopbuis kunnen we natuurlijk ook voor een grotere Newtonkijker gebruiken. Dit wordt in Frankrijk veel door amateurs gedaan. Het grote voordeel is, dat men niet afhankelijk is van een leverancier van aluminium-buizen en dat men op eenvoudige wijze allerlei hulpinstrumenten aan de kijker kan bevestigen (zoeker, camera, volgkijker etc.).

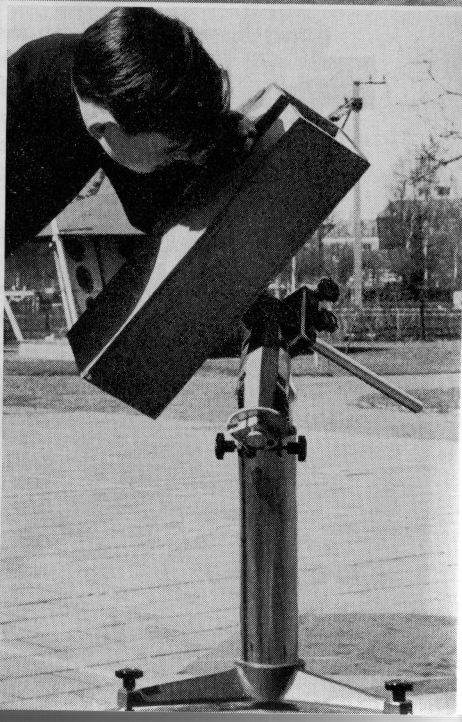


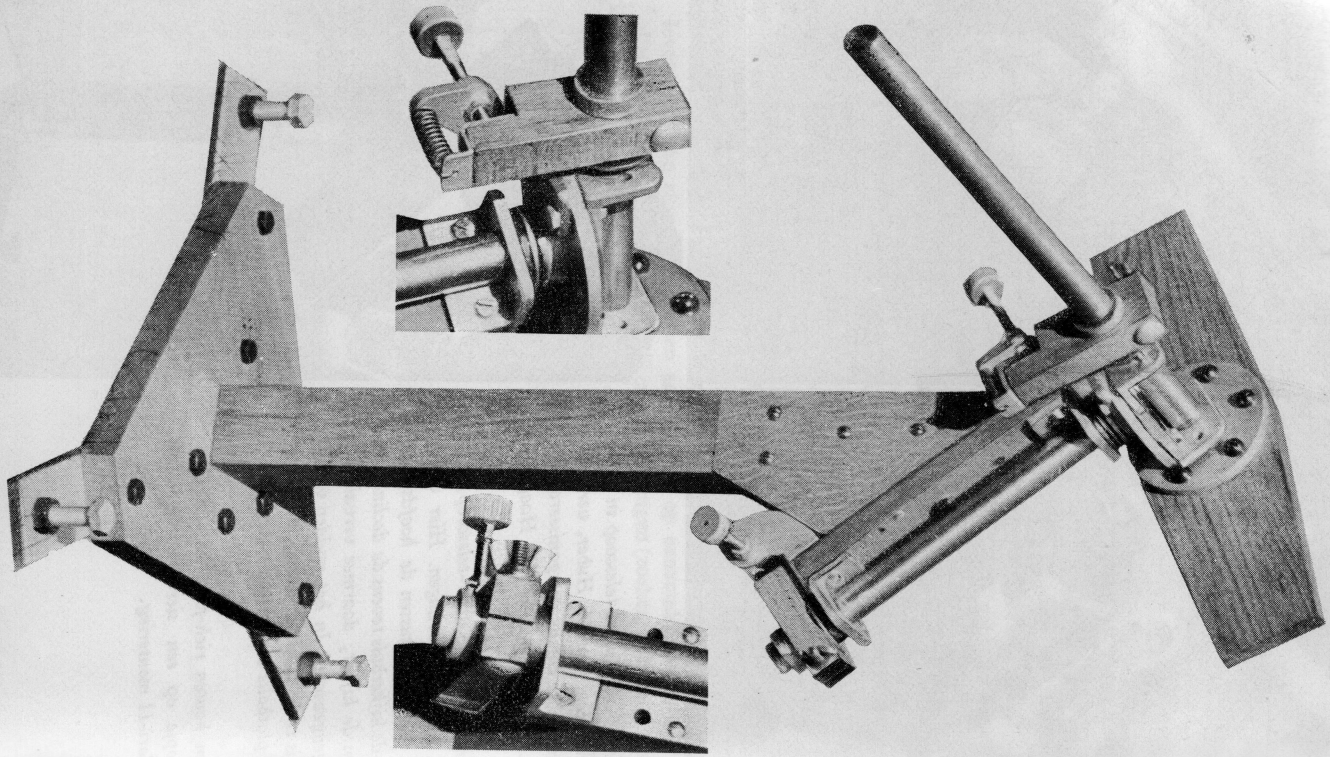


Een 11-cm Kutter-telescoop in vorkmontering, van M. Huber, vervaardigd op de cursus georganiseerd door W. H. de Voogd te Den Haag.

Een 30-cm Kutter-telescoop van K. Leister te Solingen. Hier vormt de verbinding tussen de hoofdspiegel en de kijkerbuis tevens de declinatieas van de kijker; daarmee vervalt een tegengewicht! In het midden van de buis is duidelijk de instelschroef voor de platbolle correctielens te zien.

Een houten rich-field Newton-telescoopje op een sierlijk uitgevoerde Flori-II montering.





Hoofdstuk 7 De montering

Een telescoopmontering moet het mogelijk maken de telescoop op elk willekeurig punt van de hemel te richten. Het is een statief en een samenstel van twee loodrecht op elkaar staande assen.

Als één van de assen verticaal staat, spreekt men van een *azimuthale* montering. Beter aangepast aan het astronomische gebruik is echter de zgn. *parallactische* montering waarbij één der assen evenwijdig loopt met de aardas. (fig. 41). Waarom is deze constructie beter voor astronomisch gebruik?

Omdat de aarde in een dag om haar as draait, lijkt het voor ons alsof de sterrenhemel zich in een dag om de aardas draait. Hebben wij een hemellichaam in het gezichtsveld van de kijker, dan zal het snel uit het gezichtsveld verdwijnen door deze draaiing van het hemelgewelf. Stel nu dat één der assen van de kijker samenvalt met de aardas dan is het duidelijk dat wij de kijker *alleen om deze as* behoeven te draaien om het hemellichaam in het gezichtsveld te houden. Als wij een mechanisme aan de as bevestigen waardoor deze in een dag eenmaal ronddraait, zou daardoor vanzelf het hemellichaam in het gezichtsveld blijven.

Nu zal iemand opmerken, dat we een der kijkerassen nooit kunnen laten samenvallen met de aardas, maar dat we er altijd zo'n 6000 km van verwijderd blijven. Nu, ten opzichte van de onvoorstelbaar veraf staande sterren maakt het geen verschil of we 1 mm ofwel 6000 km van de aardas afzitten: het is voldoende de kijkeras *evenwijdig* aan de aardas te richten.

Het is duidelijk, dat we een azimuthale montering direct in een parallactische kunnen omzetten, als we de verticale as van de azimuthale montering schuin zetten zodat hij evenwijdig met de aardas komt. Met kleine lichte kijkertjes kan men dat ook gemakkelijk doen. Grotere en zwaardere kijkers vragen daarbij een wijziging in de constructie van de montering: door de schuine stand van de as (die de poolas wordt genoemd omdat zij naar de hemel-

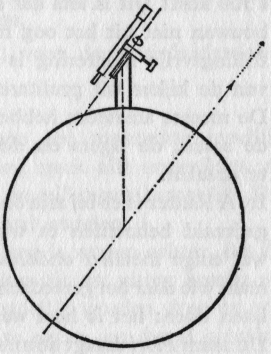


Fig. 41

pool wijst) wordt nl. de drukverdeling in de lagering van deze as anders. Bij de eenvoudigste monteringen wordt op een of andere manier gezorgd dat de assen stroef draaien. De kijker blijft dan in elke stand die men hem geeft staan omdat ze ahw. lichtjes klem zit. Het nadeel hiervan is, dat een kleine verandering van deze stand steeds min of meer schoksgewijze gaat, zodat men zijn doel voorbij kan schieten. En dit is lastig omdat wij voortdurend bij moeten stellen: het hemelgewelf staat immers niet stil. Maar zelfs met zulk een eenvoudige montering is het mogelijk sterrenfoto's te maken met belichtingstijden van meer dan een uur!
Mooier is het, als wij kleine wijzigingen van de stand van een kijker met behulp van een fijnregelmechanisme kunnen doen: we draaien aan een knop en de kijker wordt gelijkmatig meegedraaid.
Het mooiste is, als wij de poolas door middel van een mechanisme en een motor een maal in de 24 uur rond kunnen laten draaien, dan behoeven wij niet meer bij te stellen als we de kijker eenmaal op het object gericht hebben, dat we willen volgen. Maar nodig is dat niet. Ik zal u verklappen, dat wij op twee van onze mooiste instrumenten een perfect elektrisch volgmechanisme hebben maar het nooit gebruiken, ook niet voor sterrenfotografie!

Wij zullen hier een bouwbeschrijving geven van de *Flori II*. Dat is een parallactische montering met een fijnregelmechanisme voor kleine en middelgrote telescopen. De prijs van een goede montering is over het algemeen groter dan van de kijker zelf. Wie een kijker van f 1000 koopt kan er zeker van zijn, dat de kijker zonder montering nog geen f 500 kost! Dit is iets dat amateurs die zelf hun kijker en montering bouwen niet uit het oog mogen verliezen. En een goede stabiele èn trillingsvrije montering is absoluut noodzakelijk, als men werkelijk van de kijker wil profiteren.
De meeste amateurs hebben geen draaibank tot hun beschikking om de assen, de lagers en de onderdelen van het fijnregelmechanisme te draaien.
Ir. A Kutter is er bij zijn ontwerp van uitgegaan dat er geen onderdelen gedraaid behoefden te worden. De enigste moeilijkheid is, dat er wel enige metalen onderdelen gezaagd en geboord moeten worden, maar wie daar het gereedschap niet voor heeft, kan dat door een vakman laten doen: het is heel wat minder kostbaar dan draaiwerk!
De naam *Flori* draagt de montering, omdat Kutter hem naar zijn dochter heeft genoemd en het toevoegsel II duidt erop dat wij kleine ver-

eenvoudigingen (vooral aan het fijnregelmechanisme) uitgeprobeerd en goed bevonden hebben.
De oorspronkelijke montering is te vinden in het boek: Fernrohrmontierungen und ihre Schutzbauten für Sternfreunde van de in 1955 gestorven vriend van Ir. Kutter: Prof. Dr. Ir. A. Staus.

Stabiel en trillingsvrij. Voor wie het interesseert geven we hier de voorwaarden waaronder een montering zo stabiel en trillingsvrij mogelijk is. Als men, door omstandigheden gedwongen, af moet wijken van de constructie van de *Flori II*-montering, zal men hier rekening mee moeten houden. De afleiding van deze voorwaarden uit de formules die de mechanica ons verschaft is te vinden in een artikel van Ir. H. Ziegler: Konstruktive Grundlagen des Montierungsbaues, in het verslagboek van de bijeenkomst van de Zwitserse amateurastronomen in 1961.

1. Het zwaartepunt van de montering moet zo laag mogelijk liggen.
2. De tweede as (die declinatieas genoemd wordt) moet door het zwaartepunt van de kijker zelf gaan.
3. De voet zwaar maken, en de steunpunten van de voet zo wijd mogelijk uit elkaar.
4. Alle hoger liggende delen: kijker, assen, tegenwicht etc. zo licht mogelijk maken, en het geheel niet hoger maken, dan nodig is voor gemakkelijk waarnemen met de kijker.
5. Alles zo compact mogelijk bouwen zodat de zwaartepunten van de verschillende onderdelen zo dicht mogelijk bij elkaar komen.
6. Speling tussen de onderdelen vermijden.
7. Gietijzer of hout (maar geen staal!) voor de statiefonderdelen gebruiken.

Opmerking: Geheel trillingsvrij kan men een montering moeilijk krijgen. Men vindt wel eens aangegeven: maak alle onderdelen zo zwaar mogelijk, dan wordt de montering zo trillingsvrij mogelijk. Dit is beslist waar, maar heeft een groot aantal nadelen.
Verschillende van de hierboven gegeven regels zorgen echter, dat de eigen trillingen die de montering heeft (en die tot uiting komen als het instrument aangeraakt wordt), onschadelijk worden door ze een hoge frequentie en een sterke demping te geven, en dat is gelukkig mogelijk bij een zeer lichte bouw.

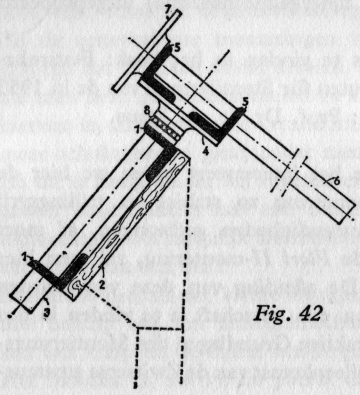


Fig. 42

De assen en hun lagering. Het lager van de poolas bestaat uit twee stukken hoekijzer (1) die op een plankje (2) zijn geschroefd. In de opstaande kanten van de hoekijzers zijn gaten geboord van 2 cm, zodat de poolas (3) (ook met een middellijn van 2 cm) er zonder speling inpast. (fig. 42, vergelijk ook de foto op pag. 106). Op de poolas is een flens (4) geschroefd.

Op deze flens zijn weer twee doorboorde hoekijzers (5) geschroefd die de declinatieas (6) moeten dragen. Ook op de declinatieas is een flens (7) geschroefd. Deze draagt een plankje waarop de kijker bevestigd wordt. Dit is in fig. 42 niet getekend. De declinatieas is wat langer dan de poolas, omdat deze het tegenwicht moet dragen dat evenwicht moet maken met de kijker.

Tussen de flens van de poolas en het hoogste hoekijzer van het poolaslager is een druklager (8) aangebracht. Noodzakelijk is dat niet, maar de kosten van zo'n lager wegen ruimschoots op tegen de grotere soepelheid bij het draaien om de poolas. Hiermee is de essentie van de montering beschreven. Hoe deze 'kop van de montering' op een statief bevestigd wordt hangt van de omstandigheden af. Bij de verdere beschrijving zullen we aannemen dat men er een laag tafelstatief van wil maken, maar de kop kan evengoed op een driepootstatief, op of een zuilstatief komen. (Maar houd dan rekening met de hierboven genoemde voorwaarden voor stabiliteit en trillingsvrijheid!)

De fijnregelingen. Het oorspronkelijke ontwerp van Kutter had voor elk van de assen een andere fijnregelingconstructie. In het *Flori II*-ontwerp is op elke as precies hetzelfde fijnregelmechanisme gebruikt.

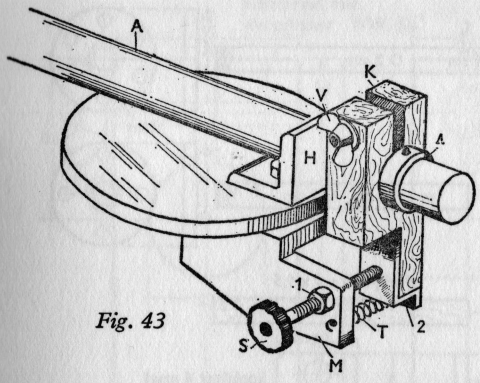


Fig. 43

In fig. 43 ziet u een perspectivische schets van zo'n fijnregelmechanisme. De as (A) rust in het hoekijzer (H). Op de as is een houten klemblokje (K) geschoven. Als de vleugelmoer (V) niet aangedraaid is, kan de as draaien zonder dat het klemblokje meegedraaid wordt: het wordt dan op zijn plaats gehouden ofwel door de lange schroef (S) of door de trekveer (T).

Wordt de vleugelmoer (V) echter aangedraaid, dan zit het klemblokje (K) vast om de as heen. De as kan nu gedraaid worden door aan de schroef (S) te draaien, want de schroef drukt het blokje van zich af (en het blokje vormt nu een starre verbinding met de as). Of, bij de tegenovergestelde beweging drukt de trekveer (T) het blokje steeds tegen het uiteinde van de schroef aan.

De schroef zelf wordt gedragen door een ijzeren verbindingsstuk, de moerdrager (M). Natuurlijk kan men op deze manier de as slechts over een beperkte hoek draaien. In de praktijk komt het hierop neer, dat men een hemellichaam met de fijnregeling meer dan een uur kan volgen en dat is ruim voldoende. Daarna moet men met de hand opnieuw instellen.

De constructiedetails van de assen en hun lagers, de fijnregelingen en de verdere afbouw van de montering als tafelstatief zullen we nu beschrijven.

De assen en hun lagering. (fig. 42 en fig. 44)

Hiervoor kopen we twee flenzen. ½ inch gasdraad, ϕ 8 of 8,5 cm. zonder geboorde schroefgaten. De assen (ϕ 2 cm), laten we op de juiste lengte zagen en op het uiteinde dezelfde schroefdraad snijden

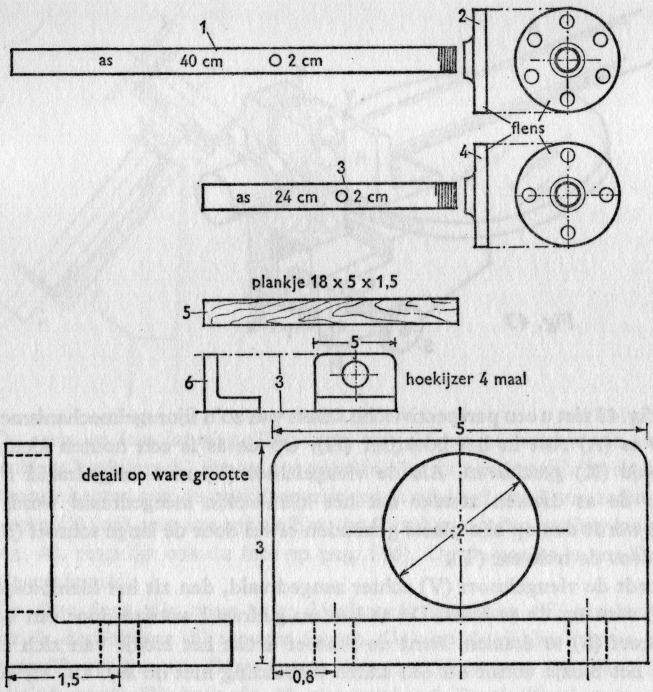


Fig. 44

als in de flenzen. In flens 2 kunnen we nu gaten boren; zes stuks met hun middelpunten op 3,2 cm van het midden. Omdat er M6 bouten doorheen moeten, boren we ruim 6 mm.

Met boren van flens 4 wachten we tot de hoekijzers klaar zijn, dan kunnen we de plaats van de boorgaten zuiverder aftekenen.

Nu komen de vier hoekijzers aan de beurt. De dikte is 5 mm. De tekening daarvan op ware grootte geeft alle nodige maten. Het gat waar de as door moet (ϕ 2 cm) moet zeer zuiver geboord worden. De as moet er zonder speling, maar toch niet klemmend doorheen kunnen. De twee andere gaten zijn weer ruim 6 mm.

Al het houtwerk moet van hardhout zijn, en in ons land is eiken daarvoor het goedkoopste. Draai daar echter geen schroeven in zonder ze eerst in te vetten anders gaan ze roesten. De maten van het plankje waarop de poolas komt staan aangegeven.

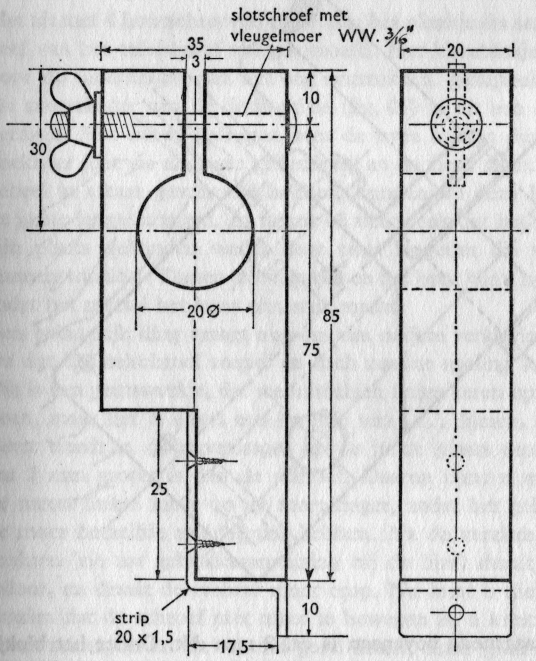


Fig. 45

Nu kunnen we de gaten in flens 4 boren. Leg de twee hoekijzers met hun boorgaten op de flens, zodat de buitenkant van de opstaande kanten ongeveer 8,5 cm van elkaar af staan en evenwijdig lopen en teken de boorgaten af.

Het is niet erg, dat een gedeelte van de hoekijzers even buiten de flens valt. Nu koopt u nog een SKF, 51104 druklager en dan kunt u alles in elkaar zetten (voorlopig). De hoekijzers op het plankje met voorlopig heel korte houtschroeven (altijd eerst voorboren!) en de hoekijzers op de flens met M6 moer en bout. Laat de bout voorlopig nog z'n hele lengte houden. Na het aanbrengen der fijnregeling zagen we die pas af.

De fijnregelingen (fig. 45)

A. Het klemblokje. Het klemblokje is van eikenhout, de maten neemt u over van de tekening. Het asgat moet weer zeer zuiver geboord

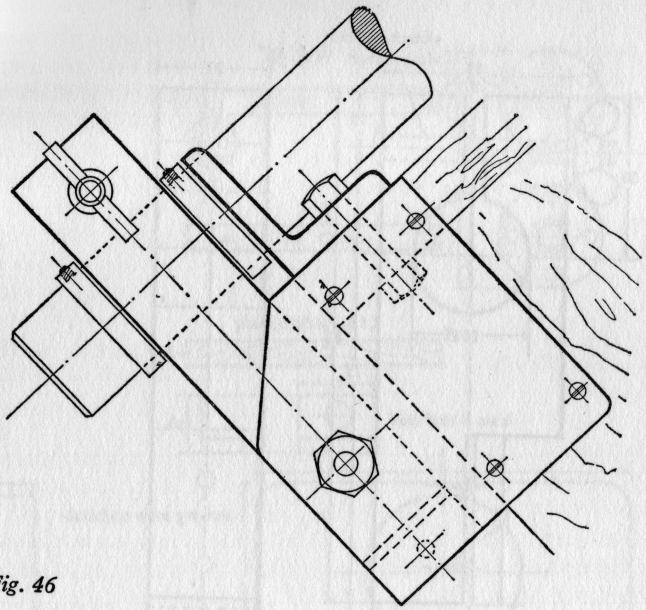


Fig. 46

worden. De zaagsnede bovenaan is ca. 2 mm dik. Onder het blokje is het gebogen ijzerplaatje getekend (1 à 1½ mm dik) dat tegen het blokje geschroefd moet worden. Het heeft een tweevoudige functie: een stevig aangrijpingspunt voor de stelschroef vormen en de veer bevestigen.

Nu kunt u het blokje in elkaar zetten. Tussen de vleugel en het hout komt een revetje.

B. De moerdrager en de stelschroef. Als stelschroef kunnen we een lange M5 bout nemen met twee moeren (lengte ca. 5,5 cm). Het is noodzakelijk de schroef op het einde wat uit te hollen en er een fietskogeltje in te solderen. Dan glijdt het beter tegen het metalen stripje, dat op het klemblokje zit.

Het is jammer dat we voor de moerdrager op de poolas een andere constructie nodig hebben dan voor die op de declinatieas, maar dat kan moeilijk anders, omdat deze laatste nergens op hout geschroefd kan worden.

We behandelen eerst de moerdrager bij de poolas, die is het eenvoudigst. Deze bestaat uit een plaatje ijzer, 5 mm dik, in fig. 46 getekend.

Het zit met 4 houtschroeven zowel aan het plankje als aan het bovenste deel van het tafelstatief vastgeschroefd. Het klemblokje is, voorzover door de moerdrager aan het oog onttrokken, gestippeld getekend.
De moerdrager aan de declinatieas (fig. 43) is uit een stuk hoekijzer gezaagd. Het wordt gedragen door de twee bouten die ook door het hoekijzer (dat we als lager gebruiken) en de flens gaan. Zodra we het geheel in elkaar geschroefd hebben, kunnen we deze M6 bouten op de juiste lengte afzagen. In figuur 43 ziet u ook dat het klemblokje op zijn plaats gehouden wordt door twee ringetjes die vastgeschroefd kunnen worden. Tussen de ringetjes en het hout komt nog een revetje, zodat het metaal het hout niet stuk maakt.
Een belangrijk ding vraagt nog om een nadere verklaring: hoe maken we dat de stelschroef soepel en toch zonder speling kan draaien? Dit is een prutswerkje, dat we misschien enige keren opnieuw moeten doen, maar het is enkel een kwestie van .... lijmen.
Eerst wordt in de moerdrager op de juiste plaats een gat geboord, dat 2 mm groter is dan de schroef. Daarna lijmt u met metaallijm de meest linkse moer op de moerdrager, zodat het geboorde gat en de moer hetzelfde middelpunt hebben. Na de vereiste tijd voor het hechten (zie uw gebruiksaanwijzing bij de lijm) draait u de schroef erdoor, en draait de rechtse moer erop. Nu kunt u die moer zo vast draaien dat de schroef niet meer te bewegen is, u kunt hem ook iets losser zetten, zodat de schroef goed draait, maar geen speling heeft. Op de laatste wijze moet de moer vastgelijmd worden (denk erom dat er geen lijm op de schroef mag komen. Als u hem eerst invet is daarvoor echter weinig gevaar. Als de zaak vastzit, kunt u proberen hoe de schroef het doet. Het kan zijn, dat hij te stroef gaat of, juist het tegenovergestelde, dat er teveel speling in zit. Dan verwarmt u de moerdrager en u kunt weer opnieuw beginnen. Het is natuurlijk ook mogelijk een dikkere moerdrager te nemen, en daar zeer zuiver de draad van de schroef in te laten snijden. Dit is moeilijker, en, naar onze ervaring, zeker niet beter.
Figuur 43 laat verder zien hoe de fijnregeling op de as bevestigd is. De veer is een sterke trekveer, die nog onder spanning staat als het klemblokje evenwijdig met de moerdrager staat.

Het tafelstatief

In fig. 47 is het bovenaanzicht van de voet gegeven: een 2,5 cm dikke plank waaraan 1 cm dikke ijzeren staven vastzitten (aan de onderkant: gestippeld).

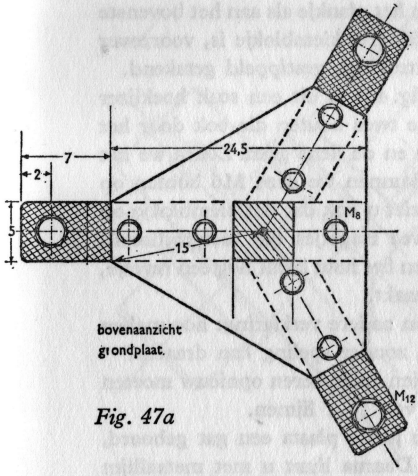


Fig. 47a

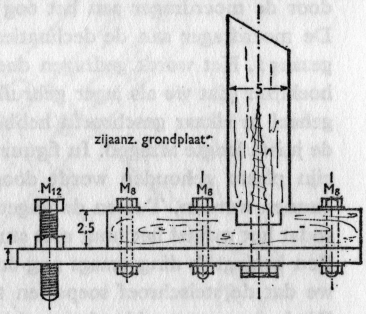


Fig. 47b

Voor het statief kunt u het beste eerst een tekening op ware grootte maken. U begint dan met een cirkel met een middellijn van 19 cm en construeert daarin een gelijkzijdige driehoek. Daarna een cirkel met een straal van 15 cm. Waar deze de driehoek snijdt worden de punten eraf gesneden.

Er zijn een lange en twee kortere ijzeren staven (5 cm breed) die met M8 bouten aan de plank vast worden gemaakt (moeren aan de onderkant).

De staven steken 7 cm uit de plank. In deze uitsteeksels komen de stelschroeven, waarvoor u M12 bouten gebruikt. In de ijzeren staven moet daarvoor draad getapt worden, maar dit behoeft niet zonder speling te zijn, als ze maar goed loodrecht zijn.

In het midden komt een vierkante eiken balk (5 × 5) waarvoor u eerst een gat in de grondplank maakt van 4 × 4. (Zie zijaanzicht) De balk is 46 cm lang.

Wat er aan de bovenkant van de balk moet gebeuren ziet u in fig. 48. Aan de zijkanten wordt de balk ingezaagd. Daar komen twee eiken plankjes op (maten in de figuur), lijmen en vastschroeven.

Het 18 cm lange plankje hebben we al klaar. Nu moet alleen de holle ruimte A nog met een balkje van de juiste vorm worden gevuld (lijmen en vastschroeven).

De balk wordt aan de onderplaat gelijmd en nog geschroefd met een meer dan 8 cm lange houtschroef die een achtkantige kop heeft.

Nu kunnen we ons assenstelsel op de kop bevestigen. En de moerdrager van de fijnregeling aanbrengen. Dit laatste is zonder meer duidelijk uit fig. 46.
Maar de hoekijzers zaten slechts voorlop'g op het plankje vast met korte houtschroeven. Bovenaan het plankje boren we nu twee gaten voor M6 bouten. Dit bovenste hoekijzer wordt nu daarmee vastgezet. Voor het onderste hoekijzer gebruiken we echter houtschroeven. Tenslotte schroeven we het plankje nog met drie zware houtschroeven op de kop vast. Ik zou dit plankje niet lijmen, omdat u dan de mogelijkheid heeft later het assenstelsel in z'n geheel zonder moeite op een ander soort statief over te brengen.
Nu is alles klaar op twee dingen na die we nog willen vermelden.

De afwerking

Nu haalt u alles wat niet gelijmd is uit elkaar. Alle ijzeren onderdelen behalve de assen verft u met aluminiumverf. De assen worden later na het in elkaar zetten tegen het roesten beschermd met metaalvernis. Het houtwerk wordt gevernist en alle zichtbare M6-, M8- en M12-bouten, worden rood geverfd. Na het drogen wordt alles weer in elkaar gezet.

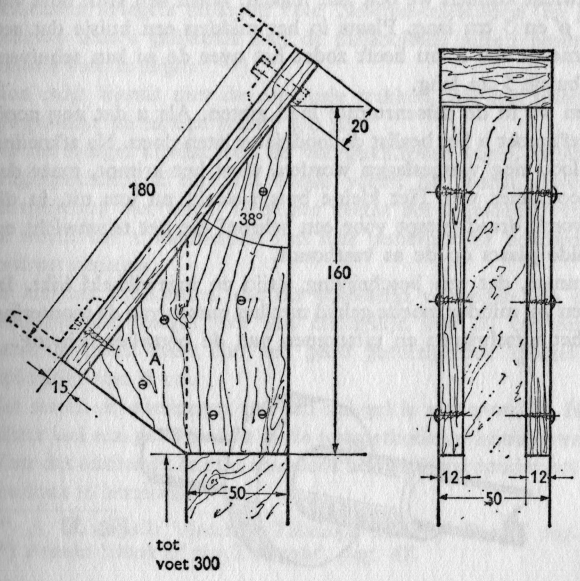


Fig. 48

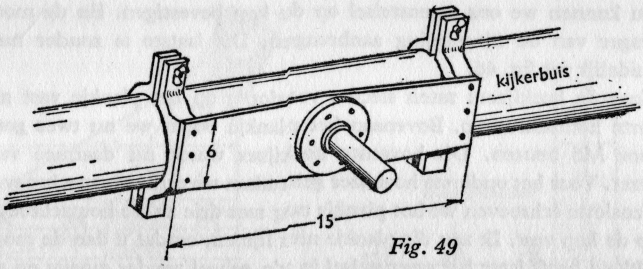


Fig. 49

Als we nu een kijker op de montering willen zetten, moeten we nog zorgen voor iets waarmee we de kijker aan het statief kunnen bevestigen en voor een verschuifbaar tegenwicht dat op het lange stuk van de declinatieas komt.

Met M6 bouten maken we een plankje (voor vorm en afmetingen zie fig. 49) aan de flens van de declinatieas vast. Hoe de kijker op dit plankje bevestigd *kan* worden ziet u ook in de figuur. Maar voor sommige kijkertypen is zelfs het plankje niet eens gewenst (zie b.v. de 11 cm Kutter-telescoop op pag. 69).

Het tegenwicht kunnen we ook zelf maken: neem een stuk buis van ca. 10 cm ø en 3 cm lang. Plaats in het midden een buisje dat een binnendiameter van 2 cm heeft zodat het over de as kan schuiven. Maak dit buisje 5 cm lang.

Nu moeten we in de tussenruimte lood gieten. Als u dat nog nooit gedaan heeft moet u het beslist de loodgieter laten doen. Na afkoeling moet het lood nog vastgeslagen worden, want het krimpt, maar dat weet de loodgieter wel. Het kleine buisje steekt nu iets uit, in dit gedeelte wordt draad getapt voor een schroef die het tegenwicht op een bepaalde plaats op de as vasthoudt.

Het is jammer, dat een beschrijving altijd zo ingewikkeld lijkt. In feite hebben wij minder moeite gehad met het maken van de montering dan met het uitschrijven en uittekenen van de bouwbeschrijving.

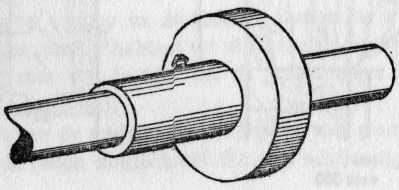


Fig. 50

Hoofdstuk 8 Het testen en corrigeren van holle en bolle spiegels

1 Inleiding

In 1616 werd de eerste telescoopspiegel geslepen (door de jesuiet Zucchius) en pas in 1858 vond *Foucault* zijn eenvoudige en toch zo gevoelige methode om de oppervlakte van een holle spiegel te controleren.
Meer dan 250 jaar lang heeft men telescoopspiegels geslepen zonder die te kunnen testen. Vele van deze spiegels voldeden uitstekend.
In een bekend boek over het vervaardigen van telescopen geeft *Ingalls* de amateur-spiegelslijper moed door op te merken, dat een niet-volmaakte spiegel toch dikwijls zulke uitstekende beelden geeft, dat het verschil met een volmaakte spiegel nauwelijks merkbaar is.
"Vele spiegels van Sir William *Herschel* (een beroemd Engels astronoom uit de 18e eeuw) werden onlangs getest. Enige daarvan zou men tegenwoordig 'niet zo best' noemen. Toch vielen ze niet tegen in het gebruik".*)
Een andere bekende spiegelslijper merkt op: "Door amateurs zijn duizenden spiegels geslepen voor Newton-telescopen (en gebruikt), waarvan iedere gelijkenis met de paraboloïde alleen bestond in de fantasie van de slijper".**)
Men mag hieruit niet de conclusie trekken, dat het testen van de spiegel niet de moeite waard zou zijn.
Als de spiegel afwijkt van de voorgeschreven vorm, wijkt ook het buigingsschijfje af van zijn ideale vorm: het wordt groter en evt. onregelmatig van vorm. Hierdoor neemt het scheidend vermogen af en wordt bij 't waarnemen van niet puntvormige lichtbronnen het contrast geringer.
Zo kan het voorkomen, dat het oplossend vermogen van een slecht gecorrigeerde spiegel met een middellijn van 20 cm een minder detailrijk beeld geeft dan een goed gecorrigeerde spiegel met een middellijn van 8 cm.
Het testen en corrigeren van een spiegel is niet moeilijk. Het vraagt echter wel een goed inzicht in de testmethode en kritisch waarnemen. Waar dat ontbreekt kunt u eindeloos bezig blijven zonder het gewenste resultaat te bereiken.

*) *A. G. Ingalls 'Amateur Telescope Making' Deel 1 pag. 299.*
**) *Franks 'Book of the Telescope'. pag. 47.*

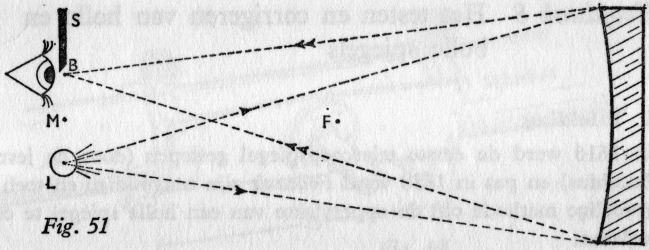


Fig. 51

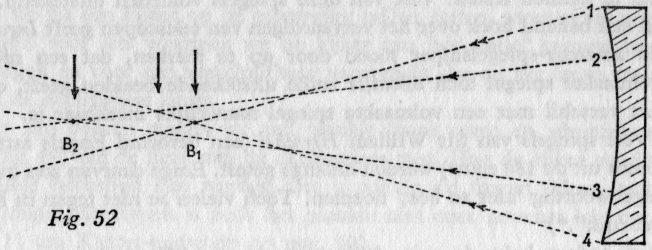


Fig. 52

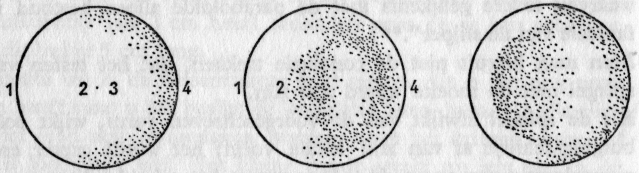


Fig. 53: bij B_2 *tussen B_1 en B_2* *bij B_2*

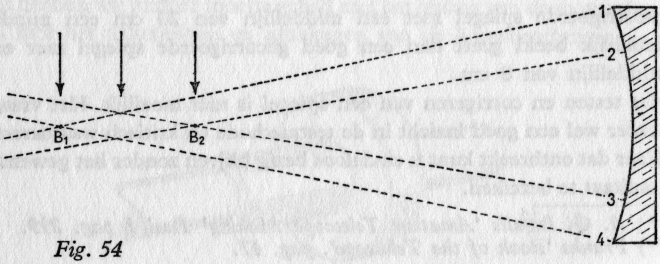


Fig. 54

Voor sommige telescooptypen heeft men zuiver sferische spiegels nodig (b.v. voor kleinere Kutter-telescopen). Deze zijn het gemakkelijkst te testen. Daarvoor kan men van dit hoofdstuk paragraaf 8 overslaan. Voor andere telescopen (b.v. de Newton-telescoop) heeft men paraboloïdische spiegels nodig. Hoe men die krijgt, vindt u in paragraaf 8. Verder kan men met deze testmethode ook ellipsoïdische of hyperboloïdische oppervlakten testen. Wie de testmethode beheerst, zal ook hier weinig moeite mee hebben.

2 Het principe

Alle stralen die vanuit het krommingsmiddelpunt (M) van een zuiver bolvormige (sferische) spiegel komen, worden weer naar het krommingsmiddelpunt teruggekaatst.
De afstand van de spiegel tot het krommingsmiddelpunt is twee maal de afstand van het brandpunt (F) tot de spiegel.
Als lichtstralen uitgaan van de kunstmatige ster (= lichtpunt) L, die even buiten het krommingsmiddelpunt ligt, komen deze stralen weer in B samen. (fig. 51).
De figuur geeft een bovenaanzicht: het lichtpunt ligt rechts, het beeldpunt links.
Als we ons oog achter B plaatsen, zien we de hele spiegel egaal verlicht.
Bewegen we een scheermesje S in de richting van B, dan zal de spiegel plotseling totaal verduisterd worden, als het scheermes B passeert.
Als de spiegel niet zuiver sferisch is, zullen stralen die van verschillende delen van de spiegel komen, niet naar hetzelfde punt teruggebracht worden.
In de volgende figuur nemen we aan, dat de spiegel aan de rand sterker gekromd is dan in het centrum. (fig. 52).
Alleen de teruggekaatste stralen zijn getekend. De randstralen (van 1 en 4) komen dichter bij de spiegel samen (in B_1) dan de stralen uit het centrum (van 2 en 3).
Als we met het mesje bij B_2 beginnen in te snijden, dan zal eerst de rand bij 4 verduisterd worden. Na het passeren van B_2 zal ook het centrum donker worden.
Als het scheermes tussen B_2 en B_1 insnijdt, verduistert eerst het centrum aan de kant van 2 en de rand aan de kant van 4.
Bij het verder gaan, worden geleidelijk de nog verlichte gedeelten verduisterd. (figuur 53).
Ga ter oefening na, wat er gebeurt als we bij B_1 insnijden; en teken de lichtverdeling (zie figuur 53).

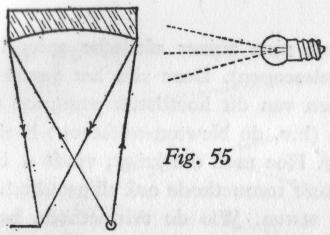


Fig. 55

Ga verder na wat er gebeurt als het centrum sterker gekromd is dan de rand (zie figuur 54).
De schaduwbeelden zijn ook op te vatten als reliëfbeelden. Men moet zich dan voorstellen, dat het reliëf van de spiegel beschenen wordt door een lamp, geplaatst aan dezelfde kant als de kunstmatige ster (zie figuur 55).
Een verhevenheid van slechts enige 100.000ste mm wordt al zichtbaar.
Men kan het ook zo uitdrukken: hoogteverschillen worden ongeveer 100.000 maal vergroot gezien.
Als de proef is opgesteld, moet u eens iemand met de vinger enige ogenblikken een deel der spiegel laten aanraken.
Door de lichaamswarmte zal op deze plaats het glas uitzetten en we zien duidelijk een heuveltje als we daarna de spiegel testen.
En dit reliëf moeten wij altijd rekenen ten opzichte van een bol, waarvan het middelpunt op het mes ligt. In het eerste voorbeeld (mes bij B_2, figuur 53) is dus het reliëf te zien ten opzichte van de stippellijn die een boldoorsnede voorstelt. (figuur 56*a*)
In feite is dus het relief zoals in figuur 56*b*.
Men kan het nu vreemd vinden, dat het mes tussen B_1 en B_2 een totaal ander reliëfbeeld geeft.
Het reliëf van de spiegel is toch hetzelfde gebleven. De moeilijkheid is opgelost als we bedenken, dat het reliëf nu wordt gezien ten opzichte van een bol-vlak met zijn middelpunt tussen B_1 en B_2.
We zien dan een reliëf zoals in figuur 57*a* en in werkelijkheid is het zoals figuur 57*b* weergeeft.
Laten we nog even de derde stand van het mes buiten beschouwing, dan kunnen we deze spiegel op 2 manieren sferisch maken:

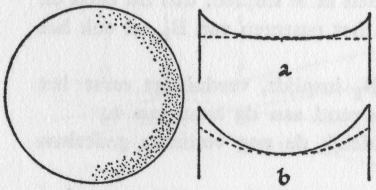


Fig. 56

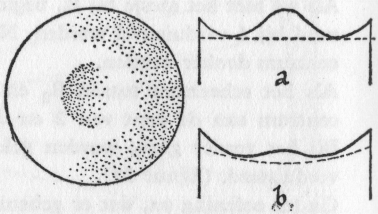
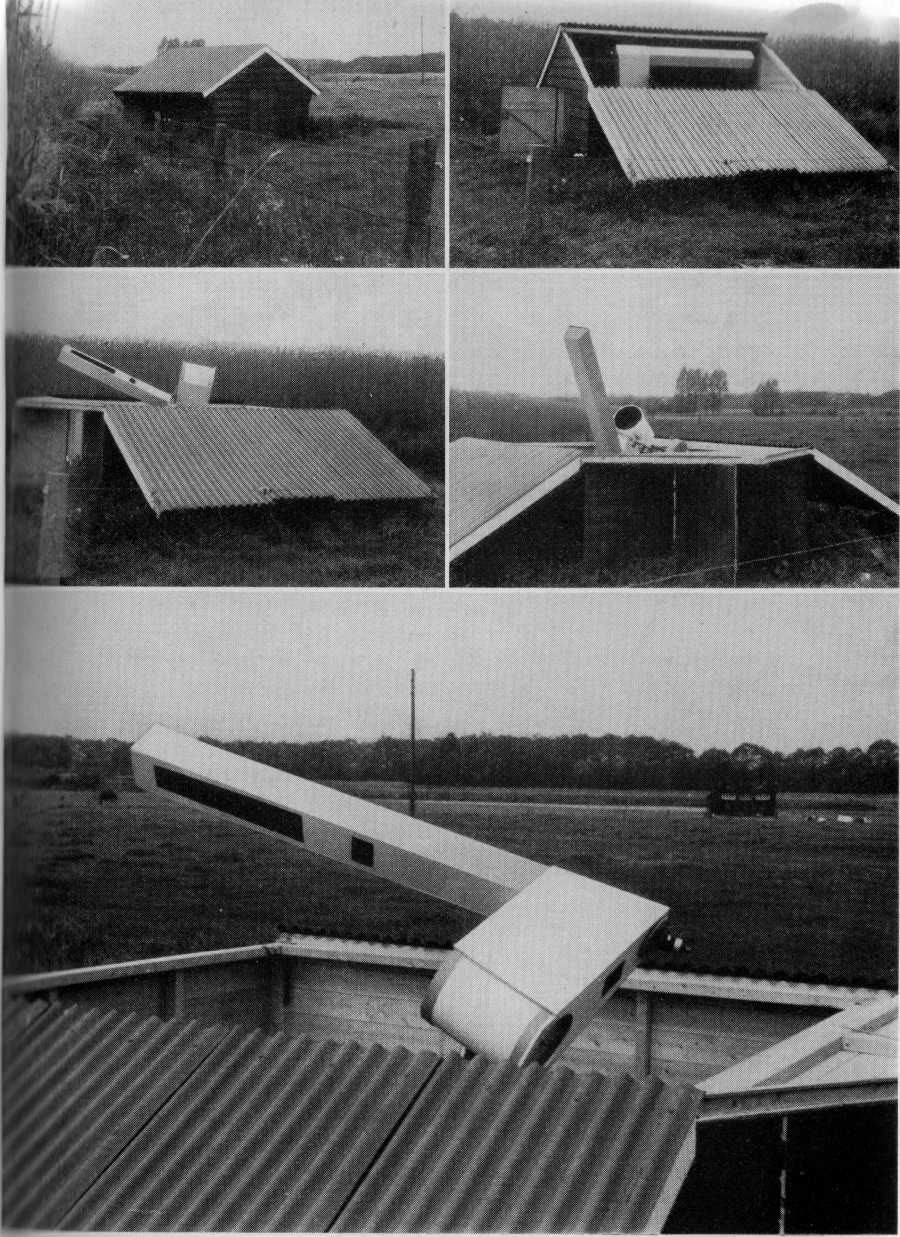
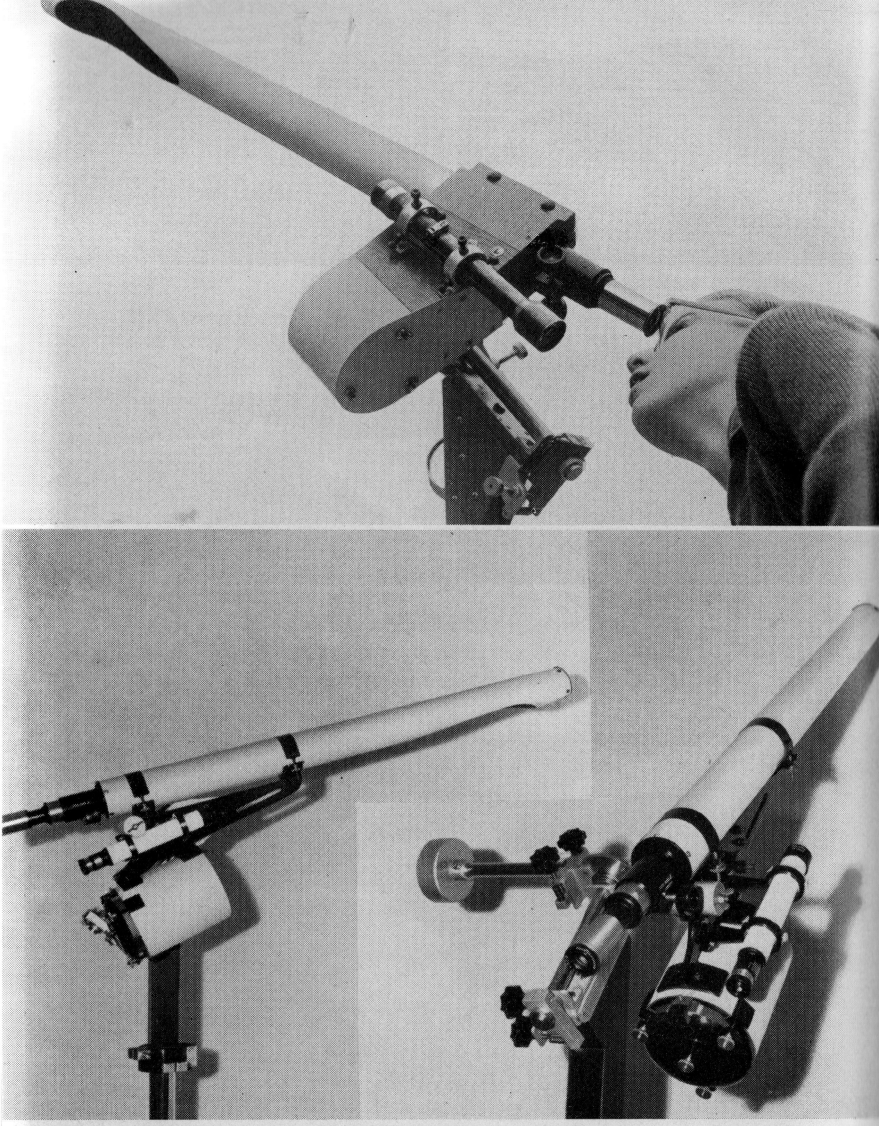


fig. 57



De sterrenwacht van R. Boschloo, Almen, met een 30 cm Kutter-telescoop. De kijkerbuis is van .... hardboard verstevigd met latjes! Deze lichte contructie is gemonteerd op een Flori-montering.



11 cm Kutter-telescoop op Flori-montering (zie pag. 89).
11 cm Kutter-telescoop (zij- en achteraanzicht)
van A. Peters te Haarlem (zie figuur op pag. 91).

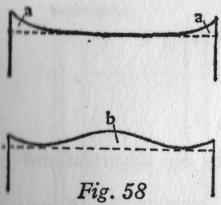


Fig. 58

1. Door aan de rand een ring a.a weg te polijsten.

2. Door in het centrum de berg b weg te polijsten.

In beide gevallen krijgen we echter niet dezelfde bol. De eerste bol zal een kromtestraal krijgen die enige mm groter is dan die van de tweede. Wie spiegels wil testen en corrigeren, zal het zojuist behandelde goed moeten begrijpen, anders kan hij met de waargenomen schaduwen niets aanvangen, en zal hij slechts bij toeval zijn spiegel zo ongeveer sferisch krijgen.

Bij het sferisch maken van de spiegel zijn we aangewezen op de waargenomen schaduwbeelden.

Als we echter een bepaalde deformatie moeten aanbrengen (b.v. de sfeer veranderen in een paraboloïde, hetgeen voor een Newtontelescoop nodig is) worden de brandpuntsafstanden van verschillende zones *gemeten* (zie paragraaf 8). Oorspronkelijk was de test alleen bedoeld voor holle spiegels. In paragraaf 7 zullen we zien, hoe er ook bolle spiegels mee te testen zijn.

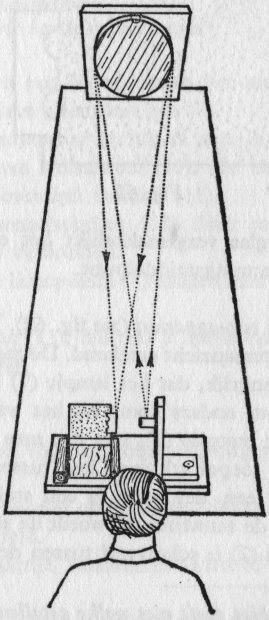


Fig. 59

3 Het test-apparaat

Opmerking:

Het is mogelijk, met een uiterst gebrekkig instrumentje de Foucault-test uit te voeren.

Men zal er dan echter weinig plezier van beleven. De tijd, besteed aan het maken van een behoorlijk instrument, wordt ruimschoots vergoed door het comfort bij het gebruik. Fig. 59 geeft een bovenaanzicht van de proefopstelling.

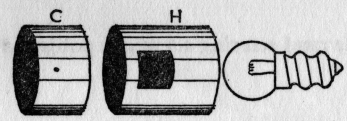


Fig. 60

De lichtbron is een 3-voltslampje, afgeschermd door een nauwsluitend hulsje (H) van blik of aluminium.
Hierin is een vierkant geknipt van ± ½ cm × ½ cm. Om dit hulsje wordt een aluminium cilindertje (C) geschoven. Hierin is een gaatje (ϕ ca. 1/10 mm) geprikt, recht tegenover de gloeispiraal.
Het fijne gaatje krijgt men als volgt:
Vijl de plaats waar het gaatje moet komen zo dun mogelijk en prik daarna voorzichtig met een naald het gaatje erin. Is de opening te groot (b.v. ½ mm à 1 mm), dan wordt de test minder gevoelig.
Het lampje wordt via een schakelaartje op een 4½ volt-batterij aangesloten.

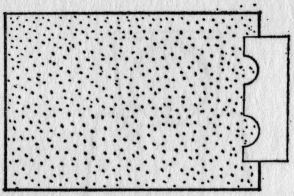


Fig. 61

Het mes is een half scheermesje, geplakt tegen de matte kant van een rechthoekig stuk matglas. (ca. 6 × 9 cm) Het matglas maken we zelf door met poeder FF één kant van de glasplaat ongeveer 5 minuten te slijpen op een grotere glazen plaat (ga door tot het glas overal gelijkmatig mat is). Het matglas vergemakkelijkt het opzoeken van het beeldpuntje bij het krommingsmiddelpunt.

Het test-apparaat (zie fig. 62). Hiervan zijn een bovenaanzicht en een achteraanzicht getekend. De maten doen weinig ter zake. Het is slechts belangrijk, dat het lampje (7) meer dan 12 cm boven de grondplank komt, anders komt bij het waarnemen de kin op de grondplank.
Het matglas (2), met het mes (3), wordt op een blokje gemonteerd, dat soepel schuiven kan tussen twee rails (1).
Op een der rails is een stukje millimeterschaal aangebracht (4)*). Bij de aanwijzer (5) wordt de stand van het blokje afgelezen. Het matglas (2) is schuivend tussen de slede (6) op het blokje gemonteerd.

---

*) *Het geeft niet welke getallen erbij staan, als het maar ± 4 cm lang is. B.v. een stukje lineaal dat loopt van 3 tot 7 cm.*

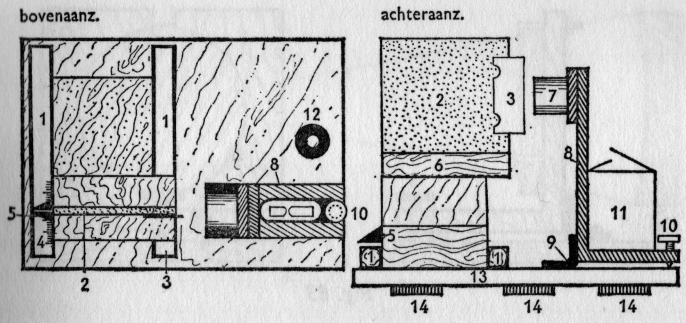


Fig. 62

1. *rails (evt. houten latjes)*
2. *matglas*
3. *mesje*
4. *millimeterverdeling*
5. *aanwijzer*
6. *slede*
7. *lampekapje met speldeprik*
8. *hoekijzer*
9. *scharnier*
10. *stelschroefje*
11. *batterij (aansluitdr. niet getekend)*
12. *tussenschakelaar (aansluitdraden niet getekend)*
13. *grondplank*
14. *drie harde rubberdopjes*

Het lampekapje met speldeprik (7) en een kleine fitting zijn aan het hoekijzer (8) vastgemaakt. Dit hoekijzer scharniert om (9).
Hierdoor is het mogelijk het lichtpuntje naar rechts of naar links te bewegen (door het aandraaien van een stelschroef (10). De batterij kan gemakkelijk aan het hoekijzer bevestigd worden (11).
Batterij en lampje zijn via de tussenschakelaar (12) door soepele geïsoleerde stroomdraden met elkaar verbonden.
De rand van het scheermes (3) en het lichtpuntje (7) mogen niet meer dan 2 cm van elkaar verwijderd zijn.
Alles is gemonteerd op een grondplaat (13), die met 3 harde rubberdopjes (14) op tafel kan worden gezet.

4 De opstelling

Het heeft geen zin de spiegel te testen vóór hij volkomen uitgepolijst is.
De spiegel en het testapparaat behoeven niet op dezelfde tafel te staan. Wel moeten beide stabiel zijn opgesteld.
Voor de spiegel maken we een standaardje, waarvan in figuur 63 voor- en zij- aanzicht getekend zijn.
De spiegel staat tussen twee pinnen en wordt van boven tegengehouden

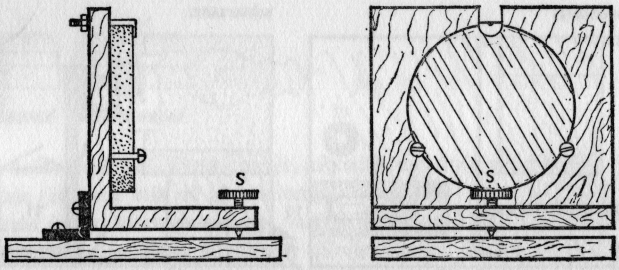


Fig. 63

door een lipje, aan een boutje gesoldeerd. Met een moer aan de achterzijde kan de spiegel vastgeklemd worden.
Met behulp van een stelschroef (S) kan de spiegel iets gekanteld worden.
Verder is belangrijk de spiegel en het testapparaat zo hoog op te stellen, dat men comfortabel kan zitten tijdens het testen.
Het testen gebeurt in het donker, omdat anders de schaduwen niet duidelijk gezien worden.
Begin met het testapparaat te plaatsen op de dubbele brandpuntsafstand van de spiegel (dus in het krommingsmiddelpunt).
Als de spiegel een brandpuntsafstand heeft van 160 cm, wordt het testapparaat 320 cm van de spiegel opgesteld. Zorg dat het matglas en de speldeprik even ver van de spiegel staan.
Verwijder het aluminium cilindertje met de speldeprik, zodat de gloeispiraal van het lampje zichtbaar wordt.
Meestal zal het beeld van de gloeispiraal niet op het matglas vallen, maar ergens (onzichtbaar) in de lucht zweven. Houd een blad papier in de buurt van het matglas om het beeld op te vangen.
Zit het te hoog, dan moet de spiegel naar voren kantelen; zit het teveel rechts of links, dan verplaatsen we het testapparaat tot het beeldje vlak bij het mes op het matglas valt.
Beweeg nu het testapparaat zo ver naar voren of naar achteren, dat het beeldje scherp op het matglas afgebeeld wordt. (Als we dan de afstand meten van de voorzijde der spiegel tot het matglas en deze door 2 delen, vinden we vrij nauwkeurig de brandpuntsafstand van de spiegel).
Schuif het aluminium-cilindertje met de speldeprik over het hulsje. Nu houden wij ons oog zo dicht mogelijk bij het matglas en schuiven het matglas-met-het-mes naar links. We zien de hele spiegel verlicht.

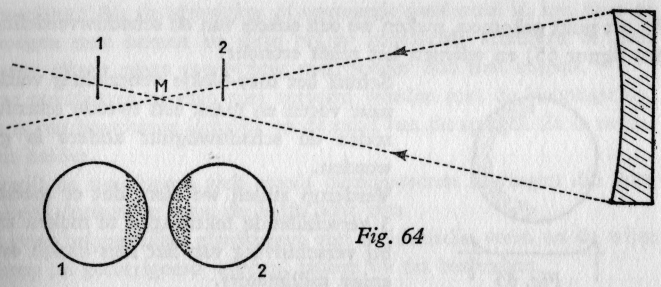


Fig. 64

Verplaats nu het mes 2 cm naar achteren (door het blokje tussen de rails naar achteren te schuiven) en schuif het mes in de stralengang. We zien nu een schaduw van de tegengestelde richting over de spiegel komen (1). Dit is een teken, dat we voorbij het krommingsmiddelpunt zijn. (Uit bovenstaande figuur is dit duidelijk).
Verplaats nu het mes 4 cm naar voren.
Bij insnijding van het mes zien we nu de schaduw van dezelfde kant komen als het mes (2).
We zijn nu tussen spiegel en krommingsmiddelpunt.
Wat er tussen beide standen gebeurt, is het belangrijkste. Dit wordt verderop besproken.
Het insnijden van het mes zullen we in het vervolg niet doen door het matglas naar links te schuiven, maar door de stelschroef (10 op blz. 127) iets in- of uit te draaien.
Natuurlijk moet daarvoor eerst het matglas in een gunstige stand geschoven worden.

5 De afwijkingen van de sferische vorm en hun correctie

Er is maar een heel kleine kans, dat de spiegel na het polijsten sferisch is. Er moet dan tussen de standen 1 en 2 uit de vorige paragraaf een punt te vinden zijn, waarbij de gehele spiegel bij het insnijden *plotseling geheel* verduistert.
Een weinig kritische waarnemer denkt al gauw dat dit bij zijn spiegel het geval is.
We beginnen nu in stand 1 (vorige par.) en schuiven met de linkerhand het mes-blokje net zolang naar voren tot de schaduw niet zo duidelijk meer van de tegengestelde richting komt.
Met de rechterhand bedienen we de stelschroef om het insnijden te regelen.

Bij dit punt gekomen, maken we een schets van de schaduwverdeling: (zie figuur 65) en tekenen het reliëf eronder:

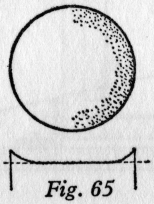


Fig. 65

Schuif het mes-blokje voorzichtig verder naar voren en maak een tweede tekening zodra de schaduwfiguur anders is geworden.

Verderop zullen we zien, dat er meestal 3 verschillende tekeningen te maken zijn bij verschuiving van het mes-blokje over enige millimeters.

Uit de 3 tekeningen kunnen we opmaken op welke plaatsen van de spiegel glas weggepolijst moet worden.

Voor we tot de bespreking van de twee belangrijkste afwijkingen van de sferische vorm overgaan, bespreken we enige schaduwfiguren, die fouten openbaren welke we eerst moeten wegwerken.

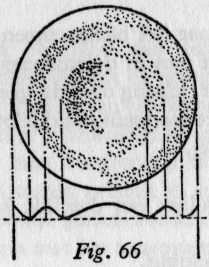


Fig. 66

1. Het schaduwbeeld bestaat uit enige concentrische lichte en donkere ringen.
   Om dit weg te werken, polijsten we met de middellange W-slag (± 1/3 diameter). Telkens na 5 minuten weer testen.
   Hiermee doorgaan tot de ringen verdwenen zijn. (figuur 66).
2. Bij het insnijden van het mes zien we, dat de schaduw een onduidelijke S-vorm vertoont.
   Deze afwijking is waarschijnlijk te wijten aan spanningen in het glas. Zo'n spiegel is niet verder te corrigeren door polijsten. Men behoeft hem niet weg te gooien. Bij matige vergrotingen kan het beeld nog redelijk zijn.
3. Afgevlakte rand: Ongeveer ½ à 1 cm breed.
4. Opstaande rand: Komt weinig voor.

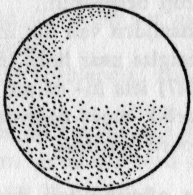


Fig. 67

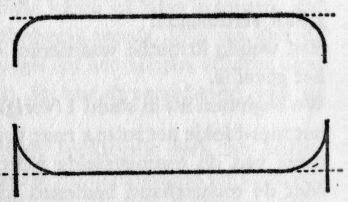


Fig. 68

Opmerking: Als de afgevlakte of opstaande rand smal is, kan men er genoegen mee nemen en deze bij de montering afdekken of hem op een glazen plaat voorzichtig met poeder 800 mat slijpen.
Deze randfouten moeten niet verward worden met de buigingsring. Dit is een haardunne lichtlijn op de rand van de spiegel. Ze is overal even helder.
Terwijl de randfouten zich steeds demonstreren in ringen die voor de helft donker en voor de helft licht zijn.
De twee belangrijkste afwijkingen van de sferische vorm en de wijze waarop ze gecorrigeerd worden, zullen we nu bespreken.

A. De Afgeplatte bol

De spiegel is een deel van een afgeplatte bol, en wel van het minst gekromde deel (zie fig. 69).
De rand is sterker gekromd dan het centrum.
Naar het centrum toe neemt de kromming geleidelijk af.

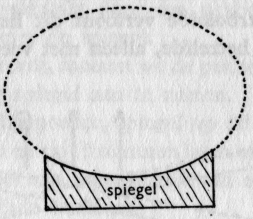


Fig. 69

Vanuit A is moeilijk te corrigeren. (fig. 70).
Vanuit C is te corrigeren met lange slagen (½ diameter).
Bij B is minder glas uit het centrum weg te polijsten dan vanuit C. Daarom nemen we stand B als uitgangspunt voor de correctie.
(Laat het testapparaat zo mogelijk in deze stand staan voor de volgende controle).
We polijsten 5 minuten met lange (½ diameter) W-slagen en controleren opnieuw.

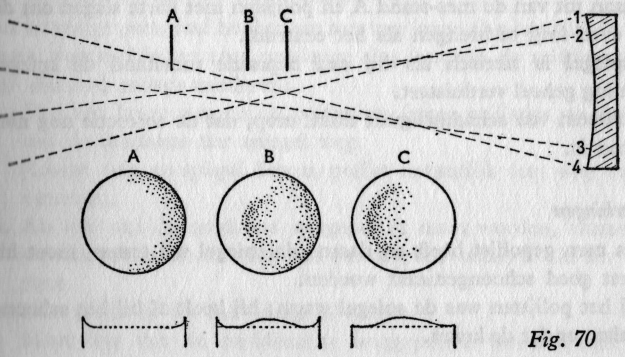


Fig. 70

Ga hiermee door tot de spiegel sferisch is. (Zie vooral de opmerkingen aan het einde van deze paragraaf.)
Een te lange slag kan ook de rand teveel afvlakken en in het centrum een uitholling doen ontstaan. Vandaar veelvuldige controle.
Als er ringen ontstaan, deze eerst wegwerken zoals hiervóór is beschreven.

B. De Hyperboloïde

Hier is het centrum sterker gekromd dan de rand.
Dit is eveneens zo bij een ellipsoïde en een paraboloïde, maar de hyperboloïde vertoont dit het sterkste. De schaduwfiguren hiervan zijn hetzelfde, alleen met veel groter contrast.

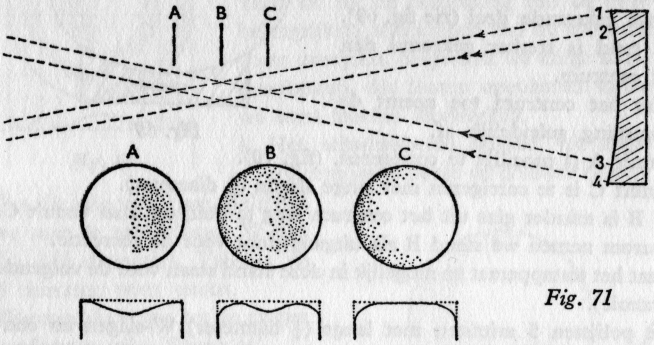


Fig. 71

We gaan uit van de mes-stand A en polijsten met korte slagen om de rand even laag te brengen als het centrum.
De spiegel is sferisch als bij een bepaalde messtand de spiegel plotseling geheel verduistert.
Elke zweem van schaduwfiguur duidt erop, dat de correctie nog niet voltooid is.

Opmerkingen

1. Als men gepolijst heeft en daarna de spiegel wil testen, moet hij eerst goed schoongemaakt worden.
   Bij het polijsten was de spiegel warm; hij koelt af bij het schoonmaken onder de kraan.

Deze temperatuursveranderingen worden door het glas (dat een slechte warmtegeleider is) maar langzaam gevolgd.
Hierdoor blijft de vorm der spiegel veranderen tot de hele spiegel de temperatuur van de omgeving heeft aangenomen. Dit kan, vooral bij dikke spiegels, vrij lang duren.
Hoe lang u moet wachten voor u uw spiegel kunt gaan testen, moet u zelf nagaan door de schaduwfiguur bij de middelste messtand telkens na 5 minuten te tekenen.
Als de figuur constant blijft, heeft de spiegel de temperatuur der omgeving aangenomen.

2. De meeste afwijkingen worden veroorzaakt door een pekbodem die niet overal goed in contact is met de spiegel.
Telkens als weer opnieuw gepolijst wordt, moeten we de pekbodem gelegenheid geven om de vorm der spiegel aan te nemen.
(Spiegel insmeren met papje van polijstpoeder, spiegel op de pekbodem leggen, een stapel boeken erop en ca. 15 minuten laten staan).
3. De hyperboloïde en de afgeplatte bol zijn gemakkelijk van elkaar te onderscheiden, als men het volgende onthoudt:
Afgeplatte bol donker centrum links. Hyperboloïde donker centrum rechts. (figuur 72).
4. Wil men de schaduwfiguren fotograferen, dan moet de lens vlak achter het mes komen, op dezelfde plaats als het oog.
Alleen met een spiegelreflex-camera of met matglas-instelling is het mogelijk, omdat men dan zolang in kan stellen tot de gewenste schaduwfiguur zichtbaar is.
De belichtingstijd moet men door proberen vinden.

6 Andere manieren van corrigeren

In de vorige paragraaf hebben we met een korte slag iets van de randzone weggepolijst en met een lange slag iets van de middenzone.
Er zijn nog andere manieren:

1. Met een lange slag en de pekbodem *boven* polijsten we snel iets van de randzone der spiegel weg.
(Lange slag en *spiegel* boven, polijst natuurlijk iets weg uit het centrum).
2. Als iets van de randzone weggepolijst moet worden, kunnen we van de pekbodem alle noppen verwijderen behalve die der randzone.
Dan polijsten we met korte W-slagen.
Moet iets van de middenzone weggepolijst worden, dan laten

Fig. 72

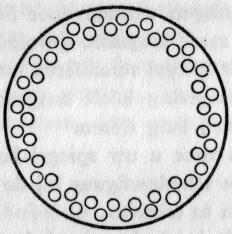


Fig. 73

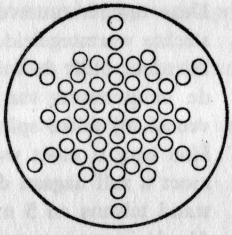


Fig. 74

we een stervormige figuur van noppen in het centrum staan en polijsten weer met korte W-slagen.
Dit gaat zeer snel.
Het nadeel is, dat we altijd nog een tweede pekbodem moeten maken, omdat deze wijze van corrigeren meestal nog fouten overlaat die met een hele pekbodem gecorrigeerd moeten worden.

7 Bolle spiegels

Bolle spiegels testen we door de vlakke achterkant heen. (Natuurlijk moet daarvoor de achterkant gepolijst zijn en vlak; het glas dat als blank spiegelglas geleverd wordt is meestal wel vlak genoeg.*)
De afstand waarop de spiegel van het testapparaat komt is nu (vanwege de breking) korter dan de kromtestraal, nl. 2/3 van deze afstand.
Het is duidelijk, dat het testen nu op dezelfde manier gaat als bij holle spiegels, omdat we van deze bolle spiegel de holle kant testen.
Er is echter nog een verschilpunt:
Omdat het witte licht door de breking in kleuren gesplitst wordt, moeten we vóór het lichtpuntje een rood glaasje plaatsen.

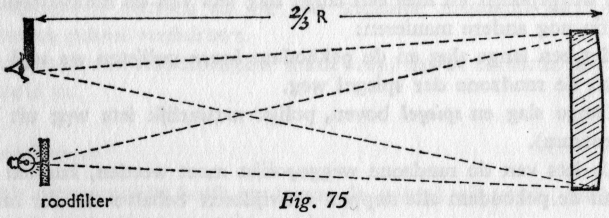


Fig. 75

*) *Als de oppervlakte minder dan een halve golflengte van een perfecte vlakke spiegel afwijkt, hebben we er bij het testen totaal geen last van.*

Men kan uit de schaduw bepalen welke afwijkingen de binnenkant van de bolle spiegel van de sfeer heeft: als het centrum te diep ligt, wil dat voor de bolle spiegel zeggen, dat het centrum te hoog ligt, etc. Wie een holle spiegel kan corrigeren, kan ook een bolle spiegel corrigeren: als b.v. het centrum te hoog ligt, moet iets van het centrum weggepolijst worden. Dit kan gebeuren door plaatselijk polijsten (met de stervormige pekfiguur in het midden, zie Par. 6), of door polijsten met een lange slag met de pekbodem onder, etc.

8 De paraboloïde

Een sferische spiegel verenigt evenwijdige stralen niet in één punt. (b.v. de stralen die van een ster afkomstig zijn)
De randstralen 1 komen dichter bij de spiegel bijeen (F_1) dan de stralen die vanuit het centrum teruggekaatst worden (in F_3).

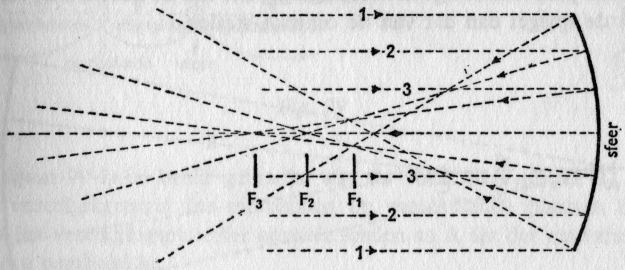


Fig. 76

Een sferische spiegel is daarom in een Newton-telescoop onbruikbaar. Om alle stralen in hetzelfde punt te krijgen, moet de kromming van de spiegel naar het centrum toenemen.
We kunnen dit ook zo uitdrukken: de sferische spiegel moet van de rand naar het centrum in toenemende mate uitgehold worden.
Bij de juiste mate van uitholling heeft de spiegel de vorm aangenomen van een paraboloïde.
(Neemt de uitholling te sterk toe, dan wordt de spiegel een hyperboloïde en verenigen de randstralen zich voorbij het punt waar de centrale stralen samenkomen (figuur 77).
Het is niet gemakkelijk om evenwijdige stralen te krijgen bij het testen; daarom werken wij met stralen die van het krommingsmiddelpunt uitgaan.
Maar hier is de situatie heel anders. (figuur 78).

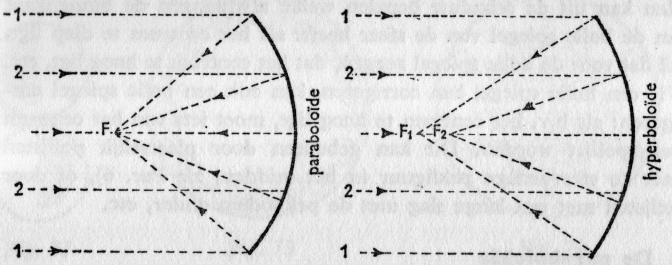


Fig. 77

Bij een sferische spiegel komen stralen, uitgaande van het krommingsmiddelpunt, weer in het krommingsmiddelpunt terug.
Bij een paraboloïde ligt het verenigingspunt van de randstralen verder van de spiegel dan dat van de centrale stralen.

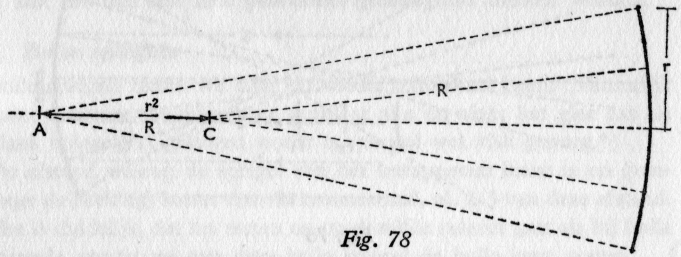


Fig. 78

De afstand AC van de beide verenigingspunten kunnen we uitrekenen. En dit stelt ons in staat te meten of onze spiegel parabolisch is.
AC is bij normale telescoopspiegels maar een paar millimeters en is voor elk geval te berekenen uit de formule

$$AC = \frac{r^2}{R}$$

waarin r de straal is van de randzone en R de afstand van de spiegel tot het krommingsmiddelpunt.
Voorbeeld: Bepaal AC voor een spiegel met een middellijn van 16 cm en een brandpuntsafstand van 160 cm.
Hier is $r = 8$ cm en $R = 320$ cm.

$$\text{Dus: } AC = \frac{64}{320} \text{ cm} = 0{,}2 \text{ cm} = 2 \text{ mm}.$$

We kunnen de formule omwerken, zodat de diameter D der spiegel en de openingsverhouding D/f er in voorkomen.

Dan wordt ze: $AC = \frac{1}{8} \cdot D/f \cdot D$

In het bovenstaande voorbeeld, waarbij D = 16 cm en D/f = 1/10, krijgen we

$AC = \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{10} \cdot 16 = 0{,}2 \text{ cm} = 2 \text{ mm}.$

Aan deze formule zien we ook dat AC recht evenredig is met de openingsverhouding en met de middellijn van de spiegel.

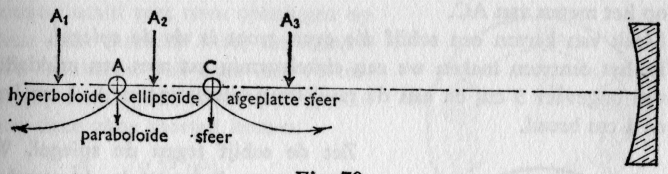


Fig. 79

In figuur 79 is in beeld gebracht wat de vorm der spiegel is, als het verenigingspunt der randstralen op verschillende plaatsen ligt. C is het verenigingspunt der centrale stralen en A dat der randstralen bij een paraboloïde.
Is het verenigingspunt A_1 dan is de spiegel een hyperboloïde.
Is het A_2, dan een ellipsoïde;
Is het C ,dan is de spiegel sferisch;
Is het A_3, dan is de spiegel een afgeplatte bol.

Samenvattend kunnen we zeggen:

De sferische spiegel moet naar het centrum toe dieper uitgehold worden; men noemt dit paraboliseren. We moeten hiermee zo lang doorgaan, tot het verenigingspunt der randstralen een bepaald bedrag $\left(AC = \frac{r^2}{R}\right)$ verder van de spiegel ligt dan het verenigingspunt der centralen stralen.
Ons interesseert nu het volgende:
1. Hoe bereiken we dit?
2. Hoe meten we dit?

1. *Het paraboliseren.* Op dezelfde wijze waarop we de afgeplatte bol sferisch maken, maken we nu de sfeer tot paraboloïde, nl. door lange W-slagen van $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{3}$ diameter.
Bedenk hierbij, dat de lengte van de slag bepaalt van welke zône het meeste weggepolijst wordt. Hoe langer de slag, hoe dichter deze zône bij het centrum ligt.
Na 5 minuten controleren, anders schieten we het doel voorbij.

2. Het meten. De schaduwfiguren van de paraboloïde vertonen grote gelijkenis met die van de hyperboloïde; ze zijn alleen veel minder contrastrijk.
We verlaten ons dan ook niet zozeer op de schaduwfiguren als wel op het meten van AC.
Maak van karton een schijf die even groot is als de spiegel.
In het centrum maken we een cirkelvormig gat met een middellijn van ongeveer 3 cm en aan de rand twee uitsnijdingen $\pm$ 2 cm lang en 1 cm breed.

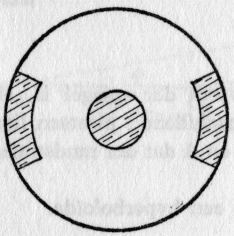


Fig. 80

Zet de schijf tegen de spiegel. We plaatsen nu het mes in de stand A (zie figuur 78).
Als deze stand juist is, zijn we met het mes in het verenigingspunt der randstralen; bij het insnijden van het mes moeten dan beide onbedekte randstroken precies tegelijk verduisteren. Doen ze dat niet, dan moeten we zo lang heen en weer schuiven tot de plaats gevonden is, waarbij dat wel nauwkeurig het geval is.
We letten alleen op de randzone, nog niet op het centrum. Het vereist oefening deze plaats op $\pm$ $\frac{1}{4}$ mm nauwkeurig te bepalen.
Teken deze stand aan. (We lezen dit op het stukje millimeterschaal af, b.v. $64\frac{1}{2}$.)

Nu het centrum. Bij deze stand zien we bij het insnijden dat de schaduw duidelijk van de rechterkant over het centrum trekt. We zijn dus voorbij het verenigingspunt der centrale stralen.
We schuiven het blokje telkens een halve mm naar voren tot het centrum ineens verduistert en we niet kunnen zien of dit vanaf rechts of vanaf links gebeurt.

Ook deze stand tekenen we op (b.v. 63¼).
Het verschil in beide standen is AC. (In het voorbeeld dus 64½ — 63¼ = 1¼ mm).
Als dit bij onze spiegel 2 mm moet zijn, gaan we nog korte tijd door met paraboliseren.
Als AC deze waarde bereikt heeft, is het zeker dat de centrale zone en de randzone delen zijn van dezelfde paraboloïde.
In de tussenliggende zones kunnen echter nog afwijkingen voorkomen. We controleren daarom nog één tussenliggende zone en wel (om redenen die we hier verder buiten beschouwing laten) de zône die op 7/10 van de straal van het middelpunt verwijderd is.
We maken hiervoor een nieuwe kartonnen schijf met twee openingen op deze zone (breedte 1 cm, zie figuur): We berekenen ook waar het verenigingspunt (C_1) van de stralen ligt, die van deze zône moeten komen.

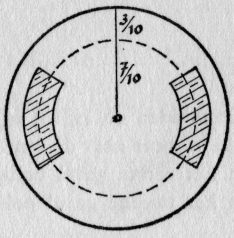


Fig. 81

$$AC_1 = \frac{r^2}{R} = \left(\frac{0{,}7^2 . 8^2}{320}\right) = 1 \text{ mm}$$

(Dat C_1 precies in het midden van AC ligt, is geen toeval, maar hangt samen met de keuze van de zone van 7/10 van de straal).
Als dit ook klopt bij het testen en de schaduwfiguur is mooi gelijkmatig bij insnijding op het punt C_1, mogen we aannemen, dat de spiegel vrijwel parabolisch is.
Bij spiegels met een middellijn van meer dan 20 cm is het nodig meerdere zones te testen.

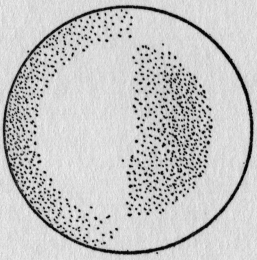


Fig. 82

Als de zone op 7/10 van de straal zich niet gedraagt zoals de berekening aangeeft, moeten we de schaduwfiguur bestuderen, die verkregen wordt bij het insnijden in het midden van AC.
Bij de paraboloïde moet de 'toprand van de ringberg' precies op 7/10 straal van het centrum liggen. Om dit na te gaan, zetten we op een middellijn van de spiegel met inkt 2 stipjes op 7/10 straal van

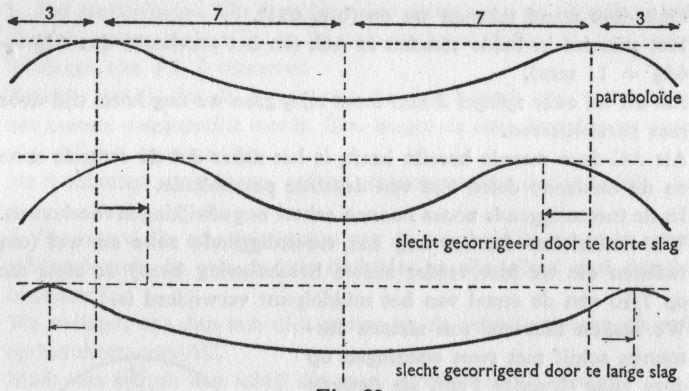


Fig. 83

het midden en kijken of de toppen meer naar het centrum gelegen zijn of meer naar de rand.
In het eerste geval polijsten we verder met een langere slag.
In het tweede geval polijsten we verder met een kortere slag.

Twee kunstmanen die kort na elkaar overkwamen (Echo I en Echo II). ▸
Foto: G. W. Hughes, Albuquerque, U.S.A.

Een heldere meteoor op 11 oktober 1961 gefotografeerd door Dr. J. van Diggelen in het sterrenbeeld ANDROMEDA. Rechtsboven is duidelijk de ANDROMEDANEVEL zichtbaar.

Hoofdstuk 9 Op verkenning langs de sterrenhemel

Het verkennen van de sterrenhemel gebeurt in verschillende etappes. Eerst moet u de sterrenbeelden leren kennen en hun onderlinge ligging. Hiervoor zijn uitstekende handleidingen geschreven, die we niet willen vervangen met dit boek.*)

Voor kijkerbezitters komt nu de tweede etappe: het bekijken van karakteristieke voorbeelden van verschillende hemellichamen. Mizar in de Grote Beer, als voorbeld van een dubbelster. M 13 in Hercules als voorbeeld van een bolvormige sterrenhoop. De Plejaden of M 44 in de Kreeft of de dubbelsterrenhoop in Perseus, als voorbeeld van een open sterrenhoop.

De grote Orionnevel als voorbeeld van een galactische nevel en de Andromedanevel als voorbeeld van een spiraalnevel.

Voeg daarbij nog een blik op een der helderste delen van de Melkweg en u hebt een programma dat u kennissen of vrienden op één enkele avond kunt voorschotelen. En het is zo jammer dat vele kijkerbezitters zelf niet verder komen en zeggen: Ik heb een aardige sterrenkijker, maar ik heb er alles al mee gezien wat er te zien is. Dit is een vergissing! Ook al heeft het kijkertje maar een objectiefmiddellijn van niet meer dan 5 cm, dan kunt u rustig jarenlang elke onbewolkte avond op verkenning langs de sterrenhemel zonder dat u alle bezienswaardigheden in het veld van uw kijker heeft gehad.

De derde etappe is het opzoeken van verschillende gemakkelijk te vinden objecten in de verschillende sterrenbeelden. Dit kost u wellicht een half jaar en daarbij zullen we uw gids zijn.

Met de vierde etappe komt u waarschijnlijk uw hele leven niet klaar, en daarvoor zullen wij u door moeten geven aan enige betrouwbare en kundige gidsen, maar dit zal pas op het einde van dit hoofdstuk gebeuren.

De derde etappe: een programma voor enkele maanden

Fig. 84. De kleine Beer en Cepheus. (In werkelijkheid staan beide sterrenbeelden verder uiteen.)

---

*) *O.a. de 'Sterrengids' die elk jaar door de Nederlandse vereniging voor Weer- en Sterrenkunde wordt uitgegeven. En 'Welke ster is dat' van W. Widmann. Uitgave Thieme: Zutphen*

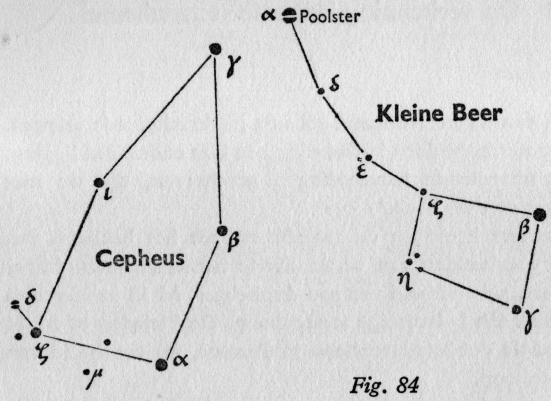


Fig. 84

Kleine Beer. De poolster is een moeilijk te scheiden dubbelster omdat de hoofdster en de begeleider zo veel in helderheid verschillen. De hoofdster is van de grootte 2,1 en de begeleider van de grootte 8,8. Hun onderlinge afstand is 19″. (We zullen deze gegevens over dubbelsterren als volgt kort noteren: m 2,1 en 8,8; d19″.)
Cepheus. δ Cepheï m 3,6 en 7,5; d 41″. De hoofdster is geel en de begeleider blauw. Als we kleuren van sterren opgeven zijn ze inderdaad opvallend, maar.... alleen voor een geoefend oog; in het begin zult u alleen witte stipjes zien. De hoofdster is tevens het prototype van een belangrijk type veranderlijke sterren: de Cepheïden. De helderheid varieert van 3,6 tot 4,3 in een periode van 5,37 dagen. (Dit zullen we in het vervolg zo noteren: m 3,6-4,3; P 5,37 dg.)
μ Cephei is dieprood, en wordt de granaatster van Herschel genoemd. (m 3,7—4,7)

Figuur 85. De grote Beer. In het midden van de dissel van de wagen zien we een heldere ster ζ (Mizar) en een klein sterretje daar vlak boven (op een afstand van 11′ 47″). Dit is Alcor. Bijna iedereen kan de twee sterretjes met het blote oog zien. Door de kijker is ζ dubbel m 2,4 en 4,2; d 14″)
Boven η zien we een driehoekje van sterren, dat tot het sterrenbeeld *Boötes* behoort. Twee ervan zijn dubbelsterren. ι (m 5 en 7,5; d 38″) en κ (m 4,7 en 7,2; d 13″). Aan de andere kant van η zien we een vaag vlekje (alleen in de kijker want de totale helderheid is 8,5). Dit is M 51 in de *Jachthonden*, een spiraalnevel.

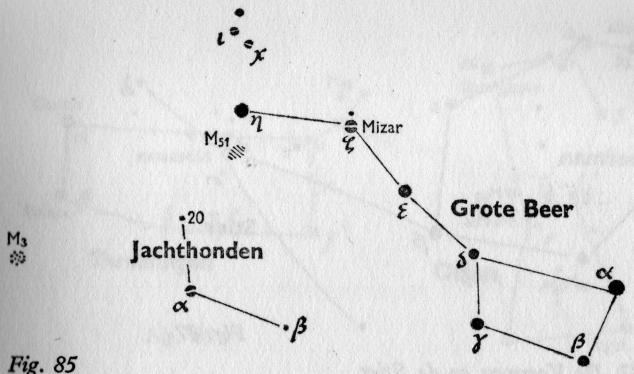


Fig. 85

α van de Jachthonden is dubbel (m 2,9 en 5,4; d 20″) wit en blauw. β en α wijzen ons de weg naar M 3, een bolvormige sterrenhoop met een totale helderheid van 4,5.

Figuur 86. Cassiopeia en Perseus.

Cassiopeia. α, de rode hoofdster is veranderlijk (m 2,1—3,1 P 80 dg.) De begeleider is van m 9; d 62″. Tussen Cassiopeia en Perseus ligt de dubbelsterrenhoop van Perseus, die reeds met het ongewapende oog te zien is. In de kijker is het bij een zwakke vergroting een prachtig object. Elke hoop telt ca. 700 sterren. Hoeveel u ervan ziet hangt natuurlijk voornamelijk van de middellijn van het objectief af.

Perseus. η is dubbel (m 4 en 8,5; d 28″).
ε eveneens (m 3 en 8; d 9″)
β is de bekende bedekkingsveranderlijke Algol (m 2,3—3,5; P 69 uur).

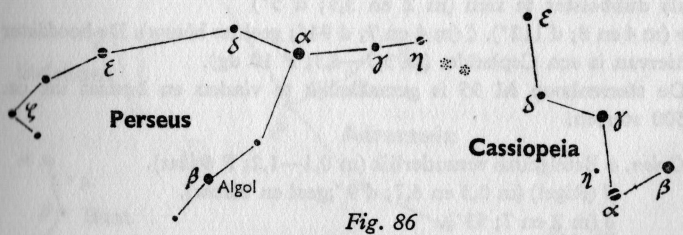


Fig. 86

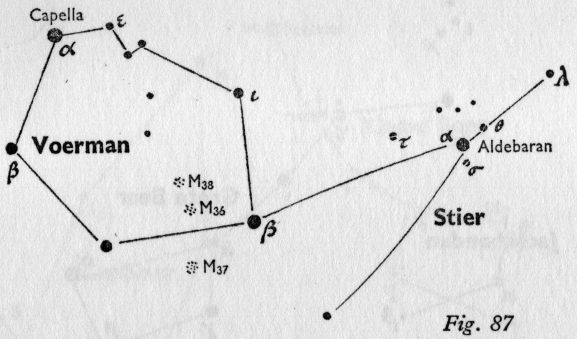


Fig. 87

Fig. 87. De Voerman en de Stier

Voerman. De drie sterren bij α noemt men wel de drie geitjes. Op een kleurenfoto vallen ze op door hun drie verschillende kleuren. ε is veranderlijk (m 3—4; P 27 jaar). De drie open sterrenhopen M 36, M 37 en M 38 zijn gemakkelijk te vinden.

Stier. Hierin zijn σ en θ voor een scherp oog reeds als dubbelsterren te zien.
σ (m 5 en 5; d 4'30″) en θ (m 3,5 en 4; d 5'35″ geel en groen).
λ is een bedekkingsveranderlijke (m 3,8—4,1; P 3,95 dagen)
τ (m 4,5 en 7; d 63″; wit en blauw)
Boven de Stier vinden we een der mooiste open sterrenhopen: de *Plejaden* of het *Zevengesternte.* Meestal zijn er met het ongewapende oog maar 6 te zien. Met de kijker veel meer; het zijn er enige honderden. De helderste, Alcyone, is drievoudig (m 3 en 7 en 7: d 117″ en 120″).

Fig. 88. De Tweelingen en *Orion* (niet in hun juiste stand tot elkaar getekend).

Tweelingen. α (Castor) is eigenlijk een zesvoudige ster. In de kijker als dubbelster te zien (m 2 en 3,5; d 5″)
ν (m 4 en 8; d 112″). ζ (m 4 en 7; d 94″; geel en blauw). De hoofdster hiervan is een Cepheïde. (m 3,7—4,3; P 10 dg).
De sterrenhoop M 35 is gemakkelijk te vinden en bestaat uit ca. 500 sterren.

Orion. α Betelgeuze veranderlijk (m 0,1—1,2; P 6 jaar).
β (Rigel) (m 0,3 en 6,7; d 9″;geel en blauw).
δ (m 2 en 7; 53″).

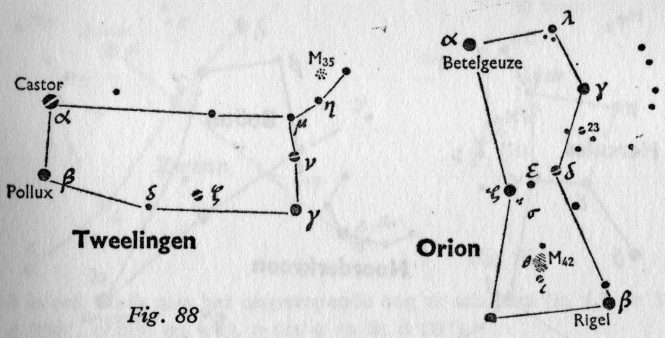


Fig. 88

Tussen δ en γ ligt een klein vierhoekje van sterren waarvan 23 dubbel is (m 5 en 7; d 32″). σ is drievoudig (m 6 en 7 en 7; d 41″ en 13″). Het zwaard van Orion is een bijzonder interessant gebied.
θ is viervoudig (m 6 en 7 en 7 en 8) en ligt midden in de grote Orionnevel M 42, een gasnevel die tot lichten wordt gebracht door de sterren die hij omringt. Door de kijker heeft hij een geheimzinnig groene kleur.
ι (m 3,2 en 7,3; d 11″; wit en blauw).

Fig. 89. Andromeda, de Driehoek en de Ram.

Andromeda. γ is een prachtige dubbelster (m 3 en 5; d 10″; goudgeel en blauwgroen). Met het ongewapende oog is reeds M 31, de grote spiraalnevel in Andromeda, te zien. Met een zwakke vergroting zien we een ietwat langwerpig lichtvlekje dat van het centrum uit steeds zwakker wordt.
De spiraalnevel M 33 is iets moeilijker te vinden; vooral geen sterke vergroting gebruiken!

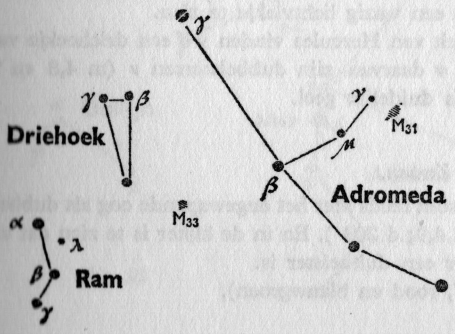


Fig. 89

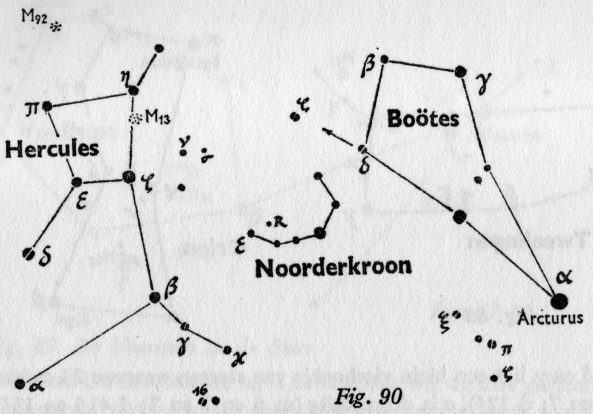


Fig. 90

Ram. Hierin vinden wij twee dubbelsterren.
γ (m 4,2 en 4,4; d 8″) en λ (m 5 en 7,5 ; d 39″).

Fig. 90. Bootes, de Noorderkroon en Hercules.

δ *Bootis* is dubbel (m 3,3 en 7,5; d 105″).
π (m 5 en 6; d 6″) en ξ (m 4,8 en 6,8; d 5″).
In de Noorderkroon is vooral de ster R zeer merkwaardig. Hij is meestal van de grootte 5,5, maar zinkt dan plotseling tot m 12. P ca. 2 jaar.
Hercules. α is een Cepheïde (m 3,1—3,9; P 90 dg).
δ (m 3,2 en 8,3; d 10″; groen en blauw).
γ (m 3,2 en 8,5; d 40″).
χ (m 5 en 6; d 30″).
Tussen η en ζ ligt de mooiste bolvormige sterrenhoop die wij op het Noordelijk halfrond kunnen zien. M 13. Evenals M 92 is hij reeds met het blote oog als een wazig lichtvlekje te zien.
Rechts van de vierhoek van Hercules vinden we een driehoekje van zwakke sterren, ν en σ daarvan zijn dubbelsterren ν (m 4,8 en 5; d 370″) de zwakste is duidelijk geel.
σ (m 5 en 6; d 6″).

Fig. 91. De Lier en de Zwaan.

Lier. ε is voor de meesten reeds met het ongewapende oog als dubbelster te zien (m 4,6 en 4,9; d 208″). En in de kijker is te zien dat elk van deze sterren weer een dubbelster is.
ζ (m 3,4 en 6; d 44″, rood en blauwgroen).

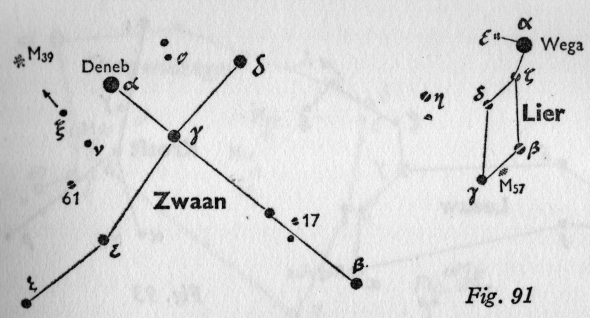


Fig. 91

δ is ook reeds met het ongewapende oog te scheiden (m 4,5 en 5,5; d 750″, oranje en wit), η (m 4 en 8; d 28″).

β is een bedekkingsveranderlijke (m 3,4—4,1; P 12,9 dg). Het is ook een dubbelster: de begeleider is van m 6,7 (d 47″, geel en groen). Tussen β en γ ligt de ringnevel van de Lier. Is als wazig vlekje te zien.

Zwaan. o is drievoudig (m 4,5 en 5 en 6,5; d 337″ en 107″, blauw, geel en blauw).

61 (m 5,4 en 6,1; d 23″).

De lijn ε, ν, ξ geeft de richting aan waarin M 39 staat, een open sterrenhoop met vrij heldere sterren. 17 is een moeilijke dubbelster (m 5,4 en 8,1; d 26″). Een heel mooie dubbelster is β (m 3,2 en 5,7; d 34″; geel en blauw).

Fig. 92. Adelaar, Pijl en Dolfijn.

Adelaar. Bij γ ligt een donkere stofwolk in een sterrenrijk gebied (zwakke vergroting!) 15 is dubbel (m 5 en 7,5; d 35″). De sterrenhoop

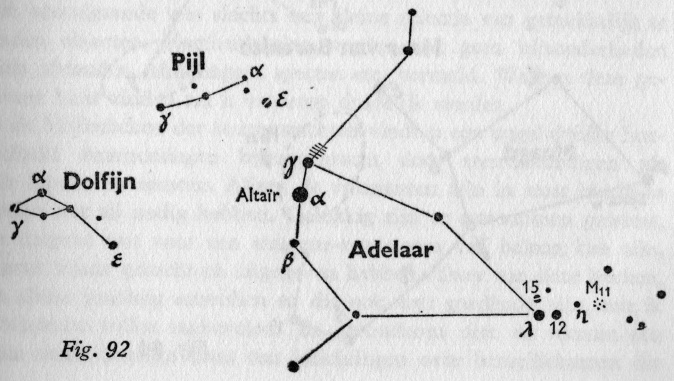


Fig. 92

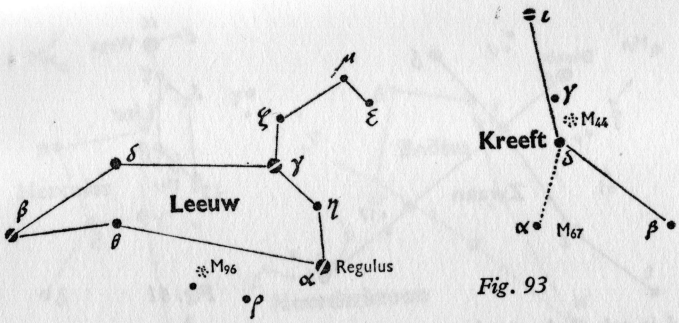


Fig. 93

M 11 die tot het sterrenbeeld *Schild* behoort is gemakkelijk te vinden.
Dolfijn is een miniatuursterrenbeeldje met twee dubbelsterren. γ is het mooiste (m 4 en 5; d 10″, geel en smaragdgroen), α (m 4,9 en 9; d 35″).
Pijl. ε (m 5,5 en 7,7; d 93″).

Fig. 93. Leeuw en Kreeft.
Leeuw. De drie helderste sterren zijn dubbel:
α (1,8 en 8; d 170″), β (m 7 en 7; d 18′ 55″) en γ (m 2,4 en 3,5; d 4″).
M 96 is een spiraalnevel.
Kreeft. Hierin vinden we twee sterrenhopen M 44 en M 67; in een kleine sterrenkijker zien we er reeds meer dan 100 sterren in!
ι is dubbel (m 4,2 en 7; d 31″; geel en blauw).

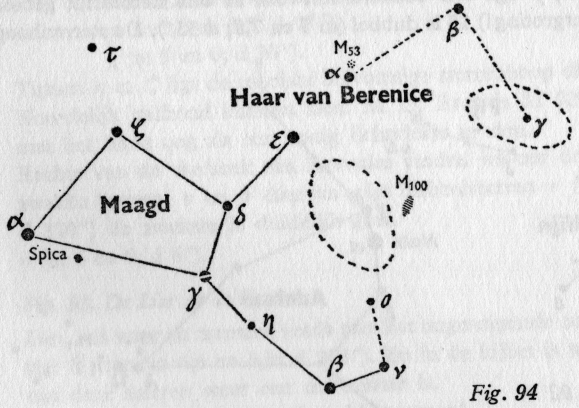


Fig. 94

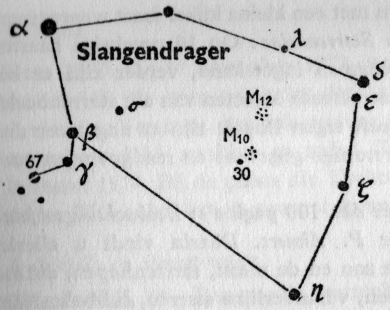


Fig. 95

Fig. 94. De Maagd en het Haar van Berenice

Maagd. γ is dubbel (m 3,3 en 3,3; d 5″). In het gebied tussen ε en o (gestippeld) vinden we honderden spiraalnevels. Onder gunstige atmosferische omstandigheden kunnen we er een aantal van zien. De spiraalnevel M 100 (in Berenice), iets meer naar rechts is veel duidelijker.

Haar van Berenice. In het gestippelde gebied rond γ zijn weer vele spiraalnevels te zien. Dicht bij α ligt de bolvormige sterrenhoop M 53.

Fig. 95. De Slangendrager.

67 is een prachtige dubbelster (m 4 en 8; d 55″, geel en oranje). M 10 en M 12 zijn bolvormige sterrenhopen.

De vierde etappe: Twee andere gidsen!

Het voorafgaande was slechts een kleine selectie van gemakkelijk te vinden objecten. Kortheidshalve werden ook geen bijzonderheden zoals afstanden, afmetingen, spectra etc. vermeld. Waar u deze gegevens kunt vinden zal u verderop duidelijk worden.

In de bibliotheken der sterrenwachten vindt u een ongelofelijke hoeveelheid waarnemingen bijeengebracht door sterrenkundigen uit vele landen en eeuwen. Alleen de vakmensen zijn in staat hierin te vinden wat zij nodig hebben. Gelukkig zijn er astronomen geweest, die datgene wat voor een amateur-astronoom van belang kan zijn, daaruit bijeen gezocht en uitgegeven hebben. Twee van deze boeken, die elkaar prachtig aanvullen en die ook zeer goedkoop zijn, zou ik u bijzonder willen aanbevelen. Ze verouderen niet en vormen een bijna onuitputtelijke bron van inlichtingen over hemellichamen die

u met het ongewapende oog en met een kleine kijker kunt waarnemen. Op de eerste plaats *Norton's Sterrenatlas:* Op 16 prachtige kaarten zijn meer dan 9000 hemellichamen ingetekend, verder zijn er beschrijvingen van een aantal interessante objecten van elk sterrenbeeld. En voor wie geen bezwaar heeft tegen Engels zijn er nog meer dan 60 grote pagina's met allerlei nuttige gegevens en raadgevingen voor de amateur-astronoom.

Het tweede boek telt iets meer dan 100 pagina's: *Beobachtungsobjekte für Liebhaberastronomen* door *P. Ahnert.* Daarin vindt u allerlei gegevens over de planeten, de zon en de maan, sterrenhopen, diffuse nevels, bolvormige sterrenhopen, veranderlijke sterren, dubbelsterren, spiraalnevels en sterren. Wat u daarvan weten wilt: afstand, grootte, helderheid, snelheid, spectrum etc. vindt u in handige tabellen bijeen. Om u een indruk te geven van beide werkjes en om u te laten zien dat ze u niet gauw in de steek zullen laten is op blz. 248 het sterrenbeeld *Cassiopeia* uit Norton's sterrenatlas gereproduceerd; verder vindt u hieronder alle bijzonderheden die dezelfde atlas over objecten uit Cassiopeia geeft en ten slotte vindt u een uittreksel uit de gegevens die u betreffende hetzelfde sterrenbeeld in het boekje van Ahnert kunt vinden.

Uit Norton's sterrenatlas. Cassiopeia

1. *Dubbelsterren*

	Magnitude	Afstand	Opmerkingen
ψ	4,4 8,9	25″	Begeleider is ook dubbel (m 9,5; d 3″)
163	6,2 8,2	35″	Prachtig goud en blauw
185	7 8,5	1″	
48	5 7,5	1″	
i	4,2 7,2 8,1	2″ 7″	Drievoudige ster. Mooi in 10 cm kijker
$O\Sigma$ 52	6,4 7	0,5″	
6	5,7 8,2	2″	
Σ 3053	6 7,3	15″	

2. *Variabele sterren*

	Magnitude	Spectrum	Periode	Type
RZ	6,4—7,8 ι	A	1,19 dg	Algol
SU	5,9—6,3	F5	1,95 dg	Cepheïde

3. *Nova*

Nova 1572. Op 11 november 1572 door Tycho Brahe voor het eerst gezien. Hij was toen helderder dan Jupiter, maar werd spoedig helderder dan Venus en was ook overdag zichtbaar. Op het einde van de maand werd hij zwakker en roder. Tenslotte werd hij onzichtbaar in maart 1574. Bij de plaats die Tycho opgaf staan twee zwakke sterretjes. Welke de Nova is geweest kunnen wij nu niet meer uitmaken.

4. *Nevels en sterrenhopen*

225, H.VIII 78 Een mooie sterrenhoop. W-vormig; midden tussen γ en χ.

581, M 103 Prachtig veld van 1° even ten N. van δ; bevat Σ 131 en een rode ster.

663, H.VI 31 Een mooie open sterrenhoop, zichtbaar in de zoeker; bevat Σ 153.

7654, M 52 Onregelmatige sterrenhoop 20′ diameter, bevat een oranje ster.

Uit Ahnert: Beobachtungsobjekte für Liebhaberastronomen. Cassiopeia

1. *De helderste sterren*

			eigen bew. in 100 j.		*radiale snelh.*		*absolute*	
magnitude	*spectrum*		*RK*	*decl.*	*km/sec.*	*afst.*	*magn.*	*opmerkingen*
α	2,1—2,6	K_0	+5	— 2,9	—4	230 lj.	—1,8	Cepheïde
β	2,42	F_5	+52,7	—17,8	+12	44	+1,7	
γ	1,6—3	B_0	+ 2,6	— 0,2	——	200	—1,8	Onregelm.
δ	2,8	A_3	+29,7	— 4,7	+7	100	+0,3	verand.
ε	3,44	B_3	+ 3,5	— 1,6	—8	460	—2,8	
ζ	3,72	B_3	+ 1,8	— 0,8	+2	650	—2,8	
η	3,64	F_8	+110	—52,3	+9	18	+4,9	Dubbelster
$\varkappa$	4,24	B_0	+ 0,4	0,0	—4	1100	—3,4	
50	4,06	A_2	— 4,2	+ 2,7	—12	130	+1,1	Dubbelster

2. *Arabische sterrennamen:* α Schedar, β Kaph, δ Ksora, ε Segin, η Achird.

3. *Open sterrenhopen.* Hiervan vindt u in een tabel o.a.: de middellijn, de helderheid, het aantal sterren, hun gemiddelde afstand tot ons.

Ze zijn echter niet naar het sterrenbeeld gerangschikt, maar naar rechte klimming, evenals de volgende gegevens.
Daarom laten we hier een uittreksel voor *Cassiopeia* weg.

4. *Diffuse en planetaire nevels:* middellijn, helderheid, helderheid van de centrale ster, afstand.
5. *Bolvormige sterrenhopen:* middellijn, helderheid, spectrum, afstand, radiale snelheid.
6. *Veranderlijke sterren:* max. en mın. helderheid, periode, spectrum, type.
7. *Dubbelsterren:* helderheden, spectra, positie.
8. *Spectroscopische dubbelsterren.*
9. *Extra-galactische nevels:* type, middellijn, helderheid, kleurindex, radiale snelheid.

U ziet, een overvloed van gegevens. Ahnert geeft ook een aantal sterrenkaartjes, ze zijn wel bruikbaar, maar toch veel minder dan die van Norton's sterrenatlas.

Hoofdstuk 10 Wetenschappelijke waarnemingen

Hier worden de belangrijkste waarnemingen behandeld die door de amateur gedaan kunnen worden en waarvan de resultaten soms door vakastronomen gebruikt worden.
De vakastronomen bieden ook graag hulp bij deze waarnemingen. Wie zich tot een van de behandelde gebieden aangetrokken voelt schrijft dit aan: Volkssterrenwacht SIMON STEVIN, Oudenbosch. Dan ontvangt hij alle nodige inlichtingen en wordt in contact gebracht met de leider van deze waarnemingen, en met de werkgroep van amateurs, die regelmatig hun waarnemingen inzenden.

1 Het waarnemen van meteoren *(Dr. J. v. Diggelen)*

Wat is een meteoor?

Meteoor is de wetenschappelijke naam voor een lichtverschijnsel aan de hemel, dat door een niet ter zake deskundige meestal een 'vallende ster' wordt genoemd.
Pas in het begin van de vorige eeuw zag men algemeen in, dat zo'n vallende ster een kosmisch verschijnsel is, dat ontstaat doordat een materieel voorwerp vanuit de wereldruimte de atmosfeer van onze aarde binnendringt.
Dat voorwerp kan uit steen of uit metaal bestaan, of 'n mengsel zijn van beide en we zullen het een *meteoroïde* noemen. De meeste meteoroïden zijn slechts enkele mm groot en we kunnen ze ons voorstellen als heel kleine hagelkorreltjes. Met een reusachtige snelheid van meestal enkele tientallen kilometers per seconde vliegt dat miniatuurhemellichaam onze dampkring binnen en naarmate het lager komt ontmoet het op zijn baan voortdurend meer luchtdeeltjes, atomen en moleculen van de gassen, waaruit de aardse atmosfeer is opgebouwd. Door de grote snelheid van de meteoroïde zullen er zeer hevige botsingen met die luchtdeeltjes plaatsvinden, waarbij de stukken van beide er letterlijk afvliegen.
Atomen, waarvan kleine deeltjes, 'elektronen' genaamd, door botsingen zijn afgeslagen noemt men geïoniseerd en langs de weg, die de meteoroïde aflegt blijft dus een spoor van geïoniseerde deeltjes achter.
Maar ook de meteoroïde zelf is omringd door een wolk van geïoniseerde gassen en vele van die elektronen treffen weer een passerend

molecuul of atoom en die voegen zich weer samen en daarbij wordt licht uitgezonden.
We zien dus een lichtpunt snel langs de hemel voortgaan) dat is de meteoroïde met de gaswolk er omheen) óf we zien de meteoor, als het verschijnsel sneller gaat, als een vage voortijlende lichtstreep. Dit lichtverschijnsel noemen we in beide gevallen een meteoor.
De meteoroïde zelf zien we dus nooit apart.
Natuurlijk wordt ze door de hevige botsingen ook verwarmd en haar oppervlak begint te smelten en te verdampen. Maar de hierdoor veroorzaakte gloed zou nooit voldoende zijn om het zichtbare lichtverschijnsel te verklaren, zoals men vroeger wel eens meende.
Het in de baan achtergebleven spoor van geïoniseerde deeltjes kaatst radargolven terug en daardoor is men vooral de laatste twintig jaar de meteoren uitgebreid met radar gaan onderzoeken. Men kan zo immers ook overdag meteoorsporen waarnemen, zelfs bij bewolkt weer.
Dit heeft tot allerlei nieuwe ontdekkingen geleid. Is het aantal brokstukken in zo'n meteoorspoor voldoende groot, dan zullen er ook zichtbare lichteffecten *gedurende enige tijd te zien* zijn en we merken dan een *na-lichtend* spoor op. Zo'n nagloeiend spoor kan bij heldere meteoren verscheidene minuten zichtbaar zijn.
Bestaat de meteoroïde uit broos gesteente, dan zal zij tijdens de botsingen sterk verbrokkelen en zo'n meteoor duurt dan ook korter dan een die uit een hard stuk nikkelijzer bestaat.
Bovendien is na het passeren van zo'n broos stuk materiaal het spoor niet alleen gevuld met geïoniseerde lucht, maar ook met geïoniseerde brokjes meteoorgruis.
Een dergelijk stofspoor kan in de morgen- of avondschemering bij heldere meteoren te zien zijn als de zon het op grote hoogte beschijnt, terwijl het beneden aan het aardoppervlak donker is. Het blijft in bijzondere gevallen wel eens een half uur lang zichtbaar.
De helderheid van meteoren vergelijkt men met die van de sterren. Een meteoor, die nog helderder is dan Venus, wordt een *'vuurbol'* genoemd en de lichtgevende gaswolk om de meteoroïde is nu vaak ovaalvormig en in vele gevallen gevolgd door een met de gaswolk meesnellende *staart*, niet te verwarren met het lichtgevende spoor, dat niet meebeweegt, maar langs de baan van de meteoor blijft nalichten.
Vuurbollen zijn zeer zeldzaam; er zijn er slechts enkele per jaar te zien. Zij worden meestal veroorzaakt door een iets groter voorwerp (enkele cm), dat in een uitzonderingsgeval wel eens zo ver in de dampkring

weet door te dringen, dat zijn snelheid geheel wordt geremd. Vaak echter wordt de spanning tegen de meteoroïde dan zo groot, dat ze plotseling explodeert. Het geluid van zo'n explosie is wel eens hoorbaar. De brokstukken vallen naar beneden (verticaal) en komen ergens op aarde terecht. Worden ze daar gevonden, dan noemt men ze '*meteorieten*'.

De meeste meteoren zijn echter veel zwakker en zijn ze nog zwakker dan de 5-de à 6-de grootte, dan kunnen we ze met ons blote oog niet meer waarnemen. We noemen ze dan *telescopische meteoren*, omdat ze met een kijker moeten worden gezocht.

Tot ongeveer de 10-de grootte is dit soort meteoren bekend, maar volgens de theoretici moeten er nog zwakkere voorkomen tot de 15-de grootte toe. Zwakker dan de 15-de kan niet, omdat die door zulke miniem kleine stukjes ijzer of metaal zouden worden veroorzaakt, dat ze reeds geheel zouden zijn geremd, voordat ze in staat zijn voldoende licht teweeg te brengen. Na het remmen dwarrelen ze in dagen of weken naar de aarde omlaag en worden daar soms als meteoorstof gevonden.

Men noemt deze kleine stofdeeltjes '*micrometeorieten*'.

Het waarnemen van meteoren

Meteoren kan men als amateur in het algemeen op drie manieren waarnemen.

a. visueel zonder kijker.
b. visueel met behulp van een kijker.
c. fotografisch.

Over radio- en radarwaarnemingen zullen we het hier niet hebben, omdat de daarvoor benodigde instrumenten in het algemeen zelden binnen het bereik van de meeste amateur-astronomen liggen.

Visuele waarnemingen zonder kijker

Benodigdheden:

1. Potlood.
2. Tekendriehoek of liniaal.
3. Papier voor het opschrijven van de waargenomen bijzonderheden.
4. Sterrenkaarten voor het tekenen van de door de meteoor gevolgde baan.
5. Uurwerk en
6. Afgeschermde verlichting.

Een aardse waarnemer krijgt de indruk, dat de sterrenhemel zich bevindt aan de binnenzijde van de hemel*bol*. Een meteoorbaan is dan ook een deel van een cirkel op die bol en wel steeds een grote cirkel in dit geval.
De onder 4 genoemde sterrenkaarten moeten dan ook zo zijn uitgevoerd, dat iedere meteoorbaan er als een rechte lijn op te tekenen is. Dit kan, als de kaarten getekend zijn in een speciaal soort projectie, de zogenaamde gnomonische projectie.
Een stel kaarten, waarop de gehele in Nederland zichtbare sterrenhemel is afgebeeld en in deze projectie uitgevoerd, is uitgegeven door de Werkgroep Meteoren van de Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde en verkrijgbaar bij haar secretariaat — J. de Metter, Prins Hendrikstraat 24, te Castricum — tegen een geringe vergoeding. Op een kaart kunnen niet meer dan ongeveer 50 meteoorbanen worden getekend; het is daarom raadzaam van elke kaart een tweetal exemplaren in voorraad te hebben.
Het onder 5 genoemde uurwerk behoeft geen precisieuurwerk te zijn. Een gewoon horloge, mits zorgvuldig behandeld is zeer geschikt.
Gedurende het tijdvak, waarin waarnemingen worden verricht en liefst ook daarbuiten, wordt het uurwerk elke ochtend en avond vergeleken met de six pips, de zes fluittoontjes, die op bepaalde tijden ook door de Hilversumse zenders worden uitgezonden (raadpleeg de radiobode voor tijdseinen). De laatste van de zes fluittoontjes valt samen met het tijdstip ..h 0 min. 0,0 sec.
De fouten van deze seinen zijn kleiner dan enkele honderdsten van seconden. Het verschil: tijdsein minus uurwerktijd wordt de klokcorrectie genoemd. Bij elke vergelijking van het uurwerk met de tijdseinen wordt in een klokcorrectieboekje genoteerd: datum, tijdstip, tijdstip uurwerk en de daaruit volgende klokcorrectie.
Men moet de voor de waarnemingen gebruikte klok dus nooit gelijkzetten, maar volstaan met de correctie te bepalen.
De onder 6 genoemde verlichting kan bestaan uit een zaklantaarn met gekleurd (b.v. rood) licht. Hij moet voldoende zijn afgeschermd, zodat hij het oog van de waarnemer niet verblindt, nadat deze de gegevens van een meteoor heeft opgetekend, en zo direct weer in staat is zelfs de zwakste sterren op te merken.

Bij het kiezen van een waarnemingspost moet gelet worden op:

1. een vrij uitzicht naar alle zijden;
2. de afwezigheid van storende straatverlichting;

3. de mogelijkheid in een gemakkelijke houding waar te nemen en te schrijven (ligstoel met stevig stuk karton);
4. de mogelijkheid van het aansluiten van de verlichting (als men geen zaklantaarn gebruikt).

In de meeste gevallen zal de amateur niet aan al deze eisen kunnen voldoen, maar men trachte ernaar.
Onervaren waarnemers doen er verstandig aan om te beginnen met een grondige bestudering van de waar te nemen hemelstreek; het is beslist noodzakelijk deze herhaaldelijk te vergelijken met de sterrenkaarten.
Zorg dat u de sterren van de 4-de grootte en helderder in een oogwenk kunt vinden en herkennen. U moet zich tevens beperken tot een klein aantal gegevens, b.v.: tijdstip, baan en helderheid van de meteoor.
Een klein aantal met zorg verzamelde gegevens heeft meer wetenschappelijke waarde dan een groot aantal slordige en dus onnauwkeurige waarnemingen.
Alleen gegevens waarvoor u instaat, moet u noteren; alles waaraan u twijfelt laat u weg. Waarnemers met meer ervaring kunnen streven naar volledigheid in hun notities.
Daarbij richten zij zich naar het volgende schema:

nr.	tijdstip	duur	kwaliteit E R B	stb	radiant	magnitude	kleur	opm.
12	$22^h04^m30^s$	0.5	8 8 2	Her	Perseïd	2,5	wit	
13	12 20	0.3	5 5 5	Per		5,0		
14	15 40	2.5	9 9 8	Uma	Perseïd	—1,5	groen	lichtspoor 15 sec.
15	22 00		3 9 5	Per	Perseïd	4,0		
16	25 30	3.5	8 9 9	Cyg		0,0	blauw	

Daarnaast noteert u begin en einde van de waarnemingstijd, datum, richting waarin werd waargenomen, tijd die er af ging voor notities (schatten), de zwakst zichtbare ster (door het aantal zichtbare sterren in het Pegasusvierkant te tellen) en de helderheid van de hemel.

Bij het schema behoort de volgende toelichting:

Kolom 1: De waargenomen meteoren worden genummerd vanaf 1 januari in een doorlopende nummering.
Ieder jaar begint u in januari opnieuw met 1.

Kolom 2: Het tijdstip van de meteoor wordt op het uurwerk afgelezen. Het is noodzakelijk na het verdwijnen van de meteoor enkele ogenblikken rustig te blijven kijken om zich te realiseren welke baan de meteoor gevolgd heeft tussen de sterren, waar hij begon en waar hij eindigde. Pas daarna wordt de klok afgelezen; men moet dus van die aflezing een zekere tijd, die geschat wordt, aftrekken. De klokcorrectie wordt natuurlijk niet iedere keer afgetrokken, maar later opgegeven. Men kan afronden op tientallen seconden; alleen bij zeer hevige sterrenregens kan het nodig zijn grotere nauwkeurigheid in de tijdsopgaven te betrachten. Dan is het beter een assistent te zoeken, die, als de waarnemer bij het verschijnen van de meteoor 'ja' zegt, ogenblikkelijk de tijd noteert en aan wie verdere gegevens worden gedicteerd. In dat geval tekent de waarnemer zelf alleen de baan op een sterrenkaart.

Figuur 96 laat als voorbeeld de banen van bovenstaande meteoren zien. Als de waarnemer alleen werkt, gaat hij direct na het aflezen en opschrijven van de tijd over tot het tekenen van de baan. De meteoor wordt met potlood getekend op de sterrenkaart. Het eindpunt wordt van een pijlspits voorzien. Het beginpunt, indien dit voldoende zeker is, van een dwarsstreepje.
In het algemeen zal de door de meteoor afgelegde weg een deel van een grote cirkel zijn en dus op de kaart een rechte lijn worden. Een enkele keer komen bochten voor. Bij het eindpunt van de meteoorbaan wordt het bijbehorende nummer geplaatst.
De duur van de meteoor is slechts door ervaren waarnemers te schatten. Werken met een stopwatch lukt haast nooit. Tel zodra de meteoor verschijnt mee: eenentwintig, tweeëntwintig, in rustig tempo. Ieder getal is één seconde en men staakt zodra de meteoor weg is.
De reactietijd aan het begin is ongeveer van dezelfde orde als die aan het eind. Zo zijn ook delen van een seconde voor ervaren waarnemers te schatten.
Bij het tekenen van de baan schat men de nauwkeurigheid van eindpunt (E), richting (R) en het beginpunt (B) in een schaal van 1 tot 10.

Kolom 5 vermeldt het sterrenbeeld, waarin het eindpunt ligt, opgegeven met de door de Internationale Astronomische Unie afgesproken symbolen, bestaande uit drie letters (zie b.v. de Sterrengids).

Kolom 6 dient om eventueel aan te geven tot welke radiant de meteoor behoort. Hierover zullen we in de volgende paragraaf nog meer vertellen.

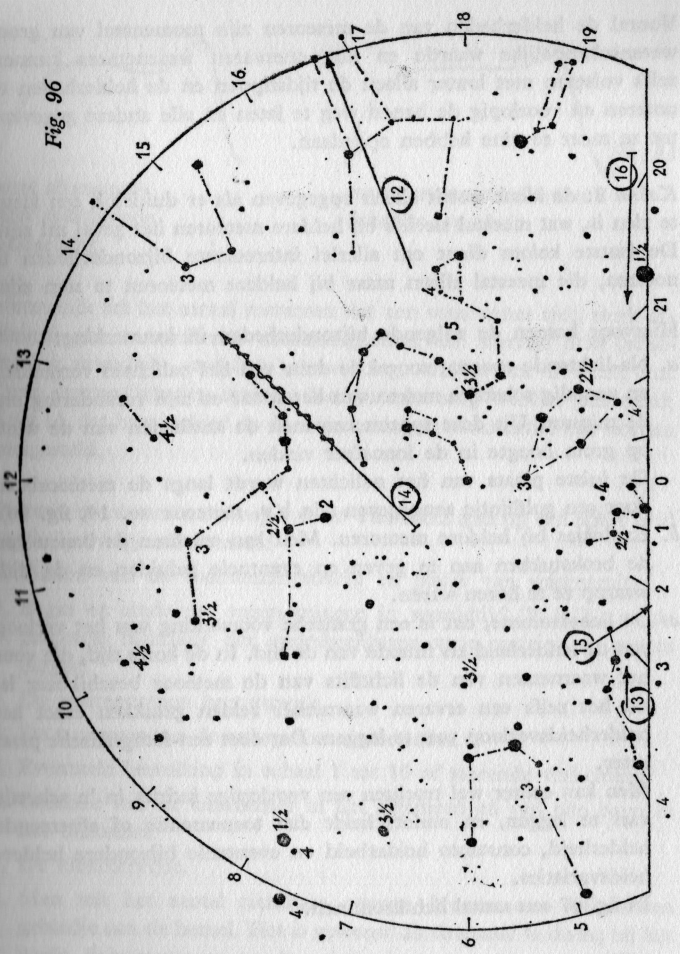


Fig. 96

Kolom 7 wordt gebruikt om de helderheid der meteoor op te geven in hele of halve magnituden nauwkeurig.
Men schat haar door de meteoor te vergelijken met bekende sterren. In figuur 96 zijn enkele bekende sterrengroeperingen opgenomen met een aantal sterhelderheden, die gebruikt kunnen worden bij meteoorwaarnemingen.

Vooral de helderheden van de meteoren zijn momenteel van grote wetenschappelijke waarde en nog onervaren waarnemers kunnen zelfs volstaan met louter alleen de tijdstippen en de helderheden te noteren en voorlopig de banen weg te laten en alle andere gegevens tot ze meer routine hebben opgedaan.

Kolom 8: de kleur wordt alleen opgegeven als er duidelijk een kleur te zien is, wat meestal slechts bij heldere meteoren het geval zal zijn. De laatste kolom dient om allerlei interessante bijzonderheden te noteren, die meestal alleen maar bij heldere meteoren te zien zijn.

Hiervoor komen de volgende bijzonderheden in aanmerking:

a. Na-lichtende sporen; vooral de duur van het nalichten vermelden en zonodig schetsjes maken van het spoor en zijn verandering om de minuut. Uit deze sporen kan men de snelheden van de wind op grote hoogte in de ionosfeer vinden.
De juiste plaats van het nalichten wordt langs de meteoorbaan door een golflijntje aangegeven (zie b.v. meteoor no. 14, fig. 96).

b. Explosies bij heldere meteoren. Men kan trachten de banen van de brokstukken aan te geven en eventuele geluiden en de tijd, waarop ze te horen waren.

c. De lichtkromme, dat is een grafische voorstelling van het verloop van de helderheid als functie van de tijd. In de korte tijd, die voor het waarnemen van de lichtflits van de meteoor beschikbaar is, zal het zelfs een ervaren waarnemer zelden gelukken exact het helderheidsverloop vast te leggen. Dat doet een fotografische plaat beter.
Men kan echter wel trachten een voorlopige indruk in 'n schetsje vast te leggen, en onderscheidt dan toenemende of afnemende helderheid, constante helderheid en eventuele bijzondere helderheidsvariaties.
In fig. 97 een aantal lichtkrommen.

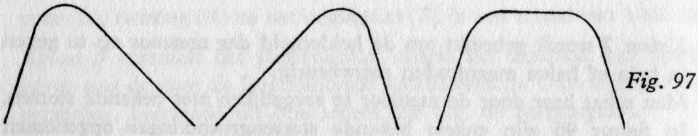
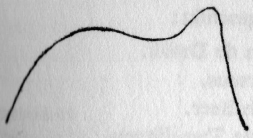
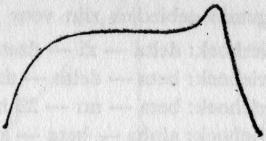


Fig. 97



eerst afnemende
later oplichtende
helderheid



eerst constante helderheid
lichtflits aan eind.

Fig. 98

Natuurlijk zal het aantal meteoren dat een waarnemer ziet, sterk afhangen van verschillende omstandigheden, als: storend licht (schemering, maanlicht, stadslicht), bewolking, conditie van de ogen, enz. Deze omstandigheden moeten daarom met zorg worden genoteerd, liefst zó, dat hun invloed op de waarnemingen kwantitatief kan worden vastgesteld.

Daarom moet men na afloop van de waarnemingen op een apart blad papier het volgende noteren:

1. Datum van de waarnemingsnacht en plaats van waarneming.
2. Begin en einde der waarnemingen in wereldtijd (W.E.T.) en de geschatte tijdsduur der onderbrekingen voor notities en andere dingen.
3. De waargenomen hemelstreek.
4. De nummers van de waargenomen meteoren.
5. Eventuele bewolking in schaal 1 tot 10 of storende verlichting.
6. Conditie van de waarnemer in het algemeen en van zijn ogen in het bijzonder.
7. De klokcorrectie.
8. Men telt het aantal zichtbare sterren binnen een welgekozen gebiedje aan de hemel. Het is gewenst dit driemaal te doen; bij het begin, halverwege en aan het einde der waarnemingsperiode. Het is het meest ideaal, als het gebiedje in de buurt van de waarnemingszône ligt en ook ongeveer even hoog aan de hemel staat. Zwak storend licht, nevel en de persoonlijke conditie beïnvloeden namelijk alle de *grensmagnitude*, d.w.z. de helderheid van de zwakste nog zichtbare sterren en dus ook van de zwakste nog zichtbare meteoren. Dit heeft direct invloed op het aantal waargenomen meteoren en op de helderheid ervan.

De volgende gebiedjes zijn voor dit doel geschikt:

1. de vierhoek: delta — xi — dzeta — chi in de Draak.
2. de driehoek: beta — delta — dzeta in Perseus.
3. de driehoek: beta — nu — 23 in de Grote Beer.
4. de driehoek: alpha — beta — epsilon in de Tweelingen.
5. de driehoek: alpha — gamma Pegasi — alpha Andromedae.
6. de driehoek: gamma — delta — xi in de Arend.

Bij het tellen van de sterren in zo'n gebiedje moeten steeds de hoeksterren worden meegerekend. Het bepalen van de grensmagnitude moet minstens eenmaal per uur worden gedaan, dus driemaal bij een waarnemingsperiode van 2 uur.

Visuele waarnemingen met een kijker

De amateurs die over een kijker beschikken, kunnen die natuurlijk ook voor meteoorwaarnemingen gebruiken. Het beste resultaat bereikt men met een kijker met een groot gezichtsveld, zoals een prismakijker of een kometenzoeker. Naast de kijker wordt een permanente zwakke rode verlichting opgesteld en die beschijnt behalve de klok ook een uitgebreide sterrenkaart. Het beste gebruikt men de kaarten van de Bonner Durchmusterung. Overigens geschieden de waarnemingen volgens hetzelfde principe als die zonder kijker. Zij leveren echter minder meteoren per uur dan waarnemingen met het blote oog. Zij vergen veel meer geduld van de waarnemer, maar ze zijn veel nauwkeuriger dan waarnemingen met ongewapend oog. Waarnemingen door de kijker dienen geregeld te worden onderbroken om vermoeidheid van de ogen tegen te gaan.
Voor het fotografisch waarnemen van meteoren verwijzen we naar: Thieme's Sterrenfotoboek.

Samenwerken met een tweede waarnemer!

De amateur, die waarnemingen van meteoren heeft gedaan, zal zich zeker na verloop van tijd afvragen, waar die mooie heldere meteoor die hij op een bepaalde avond gezien heeft toch wel precies door de dampkring is gegaan. Op welke hoogte begon zij licht te geven en waar is zij uitgedoofd? Het is niet onmogelijk om dit zelf na te gaan, maar de baan van een meteoor is alleen te bepalen, als zij tegelijkertijd ook nog door minstens één andere waarnemer op een andere plaats is gezien en opgetekend. Wilt u dus de banen van de door u waargenomen meteoren gaan bepalen, zoek dan 'n kennis op 50 of 100 km van uw woonplaats en spreek af, wanneer men gezamenlijk gaat waar-

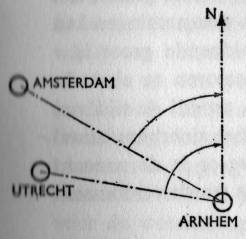


Fig. 99

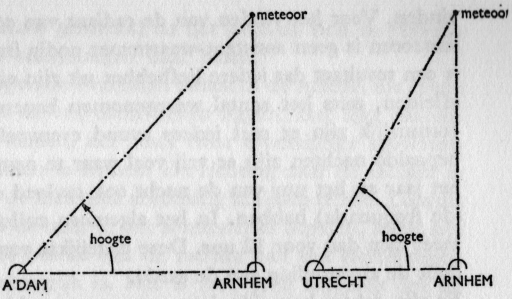


Fig. 100

nemen. Het is nodig een bepaald gebied van waarneming te kiezen en contact met elkaar te houden; het simultaan werken is essentieel om de baan te kunnen berekenen. Het mooiste is als men beide fotografeert. Het is prettig als beide waarnemers over een telefoon beschikken om elkaar een kwartier, voordat ze beginnen te werken, te kunnen bellen of de weerssituatie ter plaatse gunstig is.
Voor het waarnemen met de camera of visueel, kiest men een punt in de atmosfeer op 80 km hoogte. Men neemt een kaart van Nederland en zoekt een punt uit ongeveer 100 km oostwaarts van beide waarnemers. Bevinden zij zich b.v. in Utrecht en in Amsterdam, dan trekt men op de atlas dunne lijntjes van Utrecht naar Arnhem en van Amsterdam naar Arnhem, als het waarnemingspunt 80 km boven Arnhem ligt. Meet de hoek die ze met de richting noord maken met een gradenboog Dit is de azimuthrichting, waarin de waarnemer moet kijken. De hoogte is ook te meten door een rechthoekige driehoek te tekenen met de afstand waarnemer-Arnhem als basis en de 80 km (natuurlijk beide op schaal, b.v. 1 cm = 10 km) als andere rechthoekszijde. De schuine basishoek is dan de hoogte, waaronder de waarnemer moet kijken. *(figuur 100)*.
Een der belangrijkste gegevens is nu het tijdstip, waarop de waarnemers een meteoor hebben gezien en wanneer uit hun waarnemingslijsten blijkt, dat ze beide op hetzelfde tijdstip een ongeveer even heldere meteoor hebben gezien, dan is het zeer waarschijnlijk dat dit dezelfde meteoor is geweest.

Radianten bepalen van sterrenregens

Niet iedereen is in staat een op 50 km afstand wonende assistent te

vinden. Voor het vinden van de radiant van een aantal waargenomen meteoren is geen assistent-waarnemer nodig in een andere plaats. Dit is een resultaat dat iedere liefhebber uit zijn eigen waarnemingen kan afleiden, mits het aantal waargenomen banen voldoende groot is.
Natuurlijk zijn er niet iedere avond evenveel meteoren te zien. In bepaalde nachten zijn er vrij veel waar te nemen, terwijl de tijd van het jaar en het uur van de nacht ook invloed op het zichtbare aantal (de frequentie) hebben. In het algemeen zullen we er in de nanacht meer zien dan voor 12 uur. Deze dagelijkse variatie wordt veroorzaakt door de aswenteling van de aarde.
Er zijn echter bepaalde data, waarop geregeld meer meteoren plegen te verschijnen dan gewoonlijk. Dat zijn de nachten van de grote *sterrenregens*. De belangrijkste zijn:

	te zien	Radiant declinatie	rechte klimm.
Quadrantiden	op 3 of 4 jan.	235°	53°
Lyriden	tussen 18 en 24 apr.	273	36
Mei-Aquariden	tussen 4 en 6 mei	338	— 1
Scorpiiden	van 10 tot 20 juni	270	—30
Juli-Aquariden	van 26 tot 31 juli	45	—16
Perseïden	van 10 tot 15 aug.	266	56
Draconiden	soms op 10 okt.	45	53
Orioniden	van 18 tot 23 okt.	94	15
Tauriden	van 3 tot 10 nov.	55	24
Geminiden	op 12 en 13 dec.	114	28
Ursiden	op 22 december	217	76

De meest interessante sterrenregen is die van de Perseïden. Wie tussen 10 en 15 aug. een kwartiertje de hemel waarneemt, zal beslist meteoren zien verschijnen. Misschien moet u even wachten, maar soms komen ze in zo'n groot aantal dat een enkele waarnemer er meer dan 100 per uur kan tellen. De banen van de in enkele uren waargenomen Perseïden vertonen iets merkwaardigs. Als men ze op de sterrenkaart achterwaarts verlengt, snijden ze elkaar in de buurt van eenzelfde punt. Het lijkt wel alsof ze allemaal uit één punt komen, waaromheen zich de snijpunten van de waargenomen banen spreiden tengevolge van de waarnemingsfouten.

Dat punt wordt de *radiant* genoemd en het bevindt zich in Perseus en hieraan ontleent de sterrenregen haar naam.
In werkelijkheid doorlopen de Perseïden banen in de ruimte, die evenwijdig aan elkaar lopen en vrij dicht bijeen liggen. Het lijkt daarom alsof ze uit één punt komen, net zoals twee evenwijdige spoorrails in de verte schijnen samen te komen. De richting naar de radiant is de richting van waaruit de meteoren afkomstig schijnen te zijn. Daaruit kan men de ligging van de baan in het zonnestelsel bepalen, zodat het vaststellen van de juiste positie van de radiant van een sterrenregen voor de wetenschap belangrijk is. Het is zeer goed mogelijk om de Perseïden-radiant zelf te bepalen, mits u slechts een paar uurtjes geduldig waarneemt. Het is ook interessant dit een aantal avonden achtereen te doen (als het tenminste helder is). Dan zult u constateren, dat de radiant zich schijnt te verplaatsen. Dit is voornamelijk een gevolg van de baanbeweging van de aarde.
Niet alle meteoren, die u op een bepaalde avond omstreeks 12 aug. ziet, zijn Perseïden. Er zijn er ook bij, die niet vanuit de radiant in Perseus komen. Die noemt men sporadische meteoren, zoals er iedere heldere nacht aan de hemel te zien zijn en waarvan men niet weet tot welke sterrenregen ze behoren en zelfs of ze wel tot een zwerm moeten worden gerekend. Bij het bepalen van een radiant moeten we natuurlijk alleen de Perseïden gebruiken. Deze onderscheiden zich vaak ook door een nalichtend spoor, grotere helderheid of geelachtige kleur. Het is dus van belang in de kolom van uw waarnemingslijst die meteoren direct als Perseïden aan te geven.
Ieder jaar keren de Perseïden in augustus terug. De kleine meteoroïden bewegen zich in een langgerekte elliptische baan om de zon, die de aardbaan snijdt in punten, waar de aarde zich in de maand augustus bevindt. Al die Perseïdenbanen wijken niet zoveel van elkaar af en zij komen vrij goed overeen met de baan van een komeet, die in het jaar 1862 te zien is geweest. Er is dus blijkbaar een verband tussen beide, maar hoe dat precies in elkaar zit, weet men nog niet volledig. Er zijn nog meer sterrenregens, waarvan men de bijbehorende komeet kent. Sommige meteoorzwermen hebben echter geen komeet of misschien kennen wij die (nog) niet. Bij vele kometen is geen bijbehorende sterrenregen bekend.
Als men op een willekeurige avond enige uren waarneemt en zijn waarnemingen zorgvuldig optekent, lukt het vaak een aantal meteoren te zien, die in eigenschappen overeen komen en die allemaal uit dezelfde radiant komen. Zo kan men zelf een radiant ontdekken en het

spreekt vanzelf, dat dit soort waarnemingen van grote wetenschappelijke waarde is, vooral omdat de vakastronomen onmogelijk de hemel van nacht tot nacht op nieuwe radianten kunnen onderzoeken. Soms zal zo'n radiant terugkeren in het volgende jaar. Vaak ook zal zij dat niet doen.

Dat laatste is bekend van de beroemde Draconidenregen, de grootste sterrenregen van de 20-ste eeuw, evenals van de Leoniden, die in de vorige eeuw om de 33 jaar in grote getale verschenen. Het feit, dat deze zwermen niet ieder jaar terugkeren is eenvoudig te verklaren.

Bij de Perseïden bevinden zich de meteoroïden verspreid over de hele baan om de zon, terwijl de Draconiden nog slechts een klein deel van de baan vullen vlak om de komeet van Giacobini-Zinner heen. In 1933 was de komeet 80 dagen voor de negende oktober de aardbaan gepasseerd en de zwerm volgde haar dus blijkbaar. Waarschijnlijk verspreiden de meteoroïden zich steeds meer langs de komeetbaan, naarmate de zwerm veroudert. De Draconiden zouden dan een nog zeer jonge meteoorzwerm zijn, terwijl de Perseïden en Lyriden veel ouder zijn.

Om uit een aantal waarnemingen een radiant zelf te vinden, behoeft men zijn waargenomen banen op een gnomonische sterrenkaart slechts achterwaarts te verlengen.

Schat een voorlopig gemiddeld snijpunt en trek daaromheen een cirkel met een straal van 5 graden en tel alle meteoren, waarvan de verlengde baan door de zo bepaalde cirkel gaat, mee, als behorende tot de zwerm. Eventueel kan men nog strenger selecteren om de veldmeteoren te elimineren door rekening te houden met bijzondere kenmerken van de meteoren zelf, of met het feit, dat een meteoor, die ver van de radiant oplicht een langere schijnbare baan moet doorlopen, dan een die er vlak bij verschijnt.

Verdeel nu de tot de zwerm behorende banen in groepen van drie en bepaal het radiatiepunt van ieder drietal. Dit is het middelpunt van de ingeschreven cirkel van de driehoek, die door de drie banen wordt bepaald. Het gemiddelde van de zo gevonden radiatiepunten is de radiant; de spreiding der radiatiepunten om de radiant is een maat voor de onnauwkeurigheid en de fout, die in het resultaat aanwezig is. Beschikt men over buitengewoon veel waarnemingen gedurende een gehele nacht uitgevoerd, dan is het mogelijk, de positie van de radiant van uur tot uur te bepalen en na te gaan hoe haar plaats langzaam verandert, naarmate de radiant hoger stijgt.

2 Het waarnemen van veranderlijke sterren *(A. Mak).*

Wat zijn veranderlijke sterren?

David Fabricius ontdekte op 13 aug. 1596 in het sterrenbeeld de Walvis (Cetus) een ster van de 2de grootte (magnitude), die hij daar niet eerder zag. Enige maanden later was deze ster onzichtbaar geworden. In 1609 zag hij de ster weer. Hij noemde de ster 'de wonderlijke ster in de Walvis' (Mira Ceti). Hiermee was de eerste veranderlijke ster ontdekt.

In 1850 waren een 23-tal veranderlijke sterren ontdekt en het was F. Argelander die de studie van deze hemellichamen ernstig ter hand nam. Heden ten dage zijn vele duizenden van deze objecten bekend. De waarnemingen brachten aan het licht, dat er verschillende soorten veranderlijke sterren zijn. Sommige veranderen hun lichtsterkte met de regelmaat van een klok; andere zijn in hun gedrag onberekenbaar. Er zijn sterren, die bij hun grootste helderheid met het blote oog goed zichtbaar zijn om na verloop van tijd in een amateur-kijker onzichtbaar te worden. Maar het kan ook voorkomen, dat zo een ster slechts lichtwisselingen van enkele tienden van een magnitude (mag) vertoont.

Over de oorzaken van deze lichtwisselingen zullen we het in deze uitgave niet hebben, trouwens daarover is nog lang niet alles bekend. Er zijn echter twee groepen van oorzaken aan te wijzen, nl.:

a. De fysische gesteldheid van de ster veroorzaakt de veranderingen in lichtkracht.

b. De ster verandert zijn lichtkracht zelf niet, maar omdat een ander lichaam zich tussen de ster en de waarnemer plaatst, ontvangt men

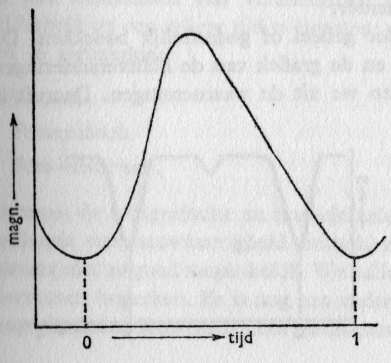


Fig. 101

minder licht. Dit is het geval als een andere ster of een nevel zich voor de ster plaatst.
Het waarnemen van veranderlijke sterren zal ons dus iets kunnen leren over de fysische gesteldheid van dit soort sterren of iets over het bestaan van onzichtbare materie in het heelal.

Het nut van de waarnemingen

Het zou ons te ver voeren om een volledig overzicht te geven van het nut van dit soort waarnemingen.
We zullen ons tot een tweetal gevallen beperken.

A. Er is een aantal sterren, waarvan de lichtwisseling zeer regelmatig verloopt. Hun lichtsterkte neemt snel toe tot een maximum om vervolgens in langzaam tempo af te nemen tot een minimum. De ster δ Cepheï is er een voorbeeld van; zijn helderheid wisselt tussen 3,8 mag en 4,6 mag, terwijl een gehele lichtwisseling plaats vindt in 5,37 dagen. We zeggen dan, dat de periode 5,37 dagen is (zie fig. 101). In 1912 ontdekte Miss Leavitt van de Harvardsterrenwacht bij een studie van veranderlijken in de kleine sterrenwolk van Magelhaes, dat er een verband bestaat tussen de helderheid van de ster en zijn periode.
Het bleek zo te zijn, dat de periode bepalend was voor de werkelijke hoeveelheid licht, die de ster uitstraalt. Weet men nu ook de schijnbare helderheid, dan is daaruit de afstand van de ster te bepalen. Sindsdien is het bepalen van de periode van een Cepheïde en zijn schijnbare helderheid (mag) een der machtigste middelen om afstanden in het heelal te bepalen!

B. Er zijn dubbelsterren, waarbij het baanvlak bijna samenvalt met de verbindingslijn ster-waarnemer.
Dan zal de ene ster de ander geheel of gedeeltelijk bedekken. De situatie is in fig. 102 getekend en de grafiek van de lichtveranderingen staat ernaast. Dit laatste halen we uit de waarnemingen. Daaruit is

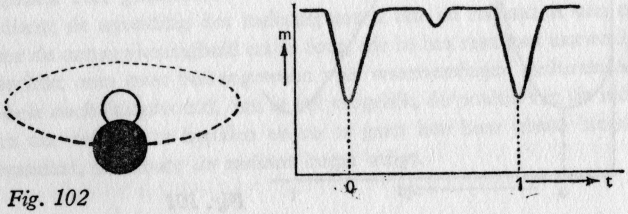


Fig. 102

het systeem van de dubbelster te berekenen. Nu bieden dubbelsterren de mogelijkheid om de massa van een ster te bepalen. Met onze waarnemingen werken we dus mee aan deze massa-bepalingen!

De naamgeving aan veranderlijke sterren

Toen er nog slechts weinig veranderlijken bekend waren, kon men volstaan met het benamen van deze sterren, zoals Mira Ceti, δ Cepheï, β Perseï, enz.

Al spoedig nam het aantal ontdekte veranderlijken zodanig toe, dat men moest zoeken naar een geschikte code om de veranderlijken aan te duiden.

Op voorstel van Argelander werd de eerst ontdekte ster in een sterrenbeeld aangeduid met de letter R, gevolgd door een drieletter-afkorting van het sterrenbeeld. Zo is R Cnc de eerste ontdekte veranderlijke in het sterrenbeeld Cancer. De tweede veranderlijke wordt met S, de derde met T enz. aangeduid. Is men zo tot Z gekomen, dan gaat men dubbele letters gebruiken, te beginnen met RR, gevolgd door RS, RT tot RZ, waarna SS, ST enz. tot ZZ.

Daarna begint men met AA, AB tot AZ, dan BB, BC tot BZ en zo wordt de laatste QZ.

Op deze wijze kan men in een sterrenbeeld 334 veranderlijken aanduiden, maar veelal is dit niet voldoende. We gebruiken dan een V, gevolgd door 'n nummer, dat aangeeft de hoeveelste veranderlijke het in dit sterrenbeeld betreft. Zo is V 449 Cyg de 449-ste veranderlijke in het sterrenbeeld Cygnus (de Zwaan).

Methode van waarnemen

Bij het waarnemen van veranderlijke sterren gaat het erom de helderheid op een zekere tijd te bepalen; daarvoor komen drie methoden in aanmerking:

a. Visueel.

b. Fotografisch.

c. Foto-elektrisch.

Alhoewel de fotografische en foto-elektrische bepalingen de voorkeur verdienen wat nauwkeurigheid betreft, zijn ze voor de beginnende amateur niet zo goed toegankelijk. We zullen ons daarom tot het visueel waarnemen beperken. Er is nog een andere reden om dit te doen. De fotografische en foto-elektrische methoden zijn kostbaar en tijdrovend.

Gaat men visueel te werk volgens de methode van het schatten, dan is het niet moeilijk om elke 5 minuten een helderheidsschatting uit te voeren. Daarmee is het mogelijk om een groot aantal sterren onder observatie te houden en daar is het min of meer om te doen. Hier kan de amateur, met hem ten dienste staande middelen, de vakastronoom nuttig waarnemingsmateriaal leveren.

Voor het waarnemen heeft u, behoudens enkele uitzonderingen, een kijker nodig en dient men te beschikken over de nodige kaartjes, waar de veranderlijken met de zgn. vergelijksterren op voorkomen.

Het bezit van een sterrenatlas, die bv. alle sterren, met het blote oog zichtbaar, bevat, geeft veel gemak, alhoewel de kaartjes uit de sterrengids ook te gebruiken zijn.

We betrekken de kaartjes van de omgeving van de veranderlijken van de 'Werkgroep Veranderlijke Sterren' en onze eerste taak is nu, de ster aan de hemel op te zoeken. Als u dit voor de eerste keer doet, kost u dat al gauw een uur zoeken; later zal het u minder tijd en moeite kosten. Heeft u de ster eenmaal gevonden, dan zult u een volgende avond geen moeite hebben om deze ster weer te vinden. Als voorbeeld nemen we W Cas. Het sterrenbeeld Cassiopeia zal een ieder weten te vinden. Tussen de sterren γ en η (zie fig. 103) staan de beide sterren ν_1 en ν_2 ,die met een prismakijker gemakkelijk te zien zijn.*)

In fig. 104 vindt u dit gebied terug, evenwel zijn noord en zuid verwisseld, zodat het beeld correspondeert met wat u ziet in een omkerende kijker.**) Op het kaartje 104 vindt u γ en η Cas en ook ν_1 en ν_2. Bij deze sterren vindt u getallen, bv. 50 bij ν_1. Dit getal geeft de helderheid aan in tiende delen van magnituden; dus 50 betekent 5.0 mag en 48 is 4.8 mag. (We zetten geen komma's maar een punt, dit in overeenstemming met de Engelse schrijfwijze.) De zwakste ster op dit kaartje is aangeduid met 102, dus 10.2 mag. U stelt nu de kijker (bv. een 60 mm kijker of een 15 cm spiegeltelescoop) in op de sterren ν_1 en ν_2 en gebruikt daarbij de zwakste vergroting die u hebt. Laten we veronderstellen, dat het gezichtsveld bij deze vergroting iets meer dan een halve graad is, zodat de maan juist in haar geheel erin geplaatst kan worden. Bedenk dan wel, dat de sterren ν_1 en ν_2 ver uiteen liggen in het veld van de kijker. Heeft u deze sterren erin staan, dan gaat u verder en zoekt u eerst de sterren 96 en 82 op, daarna 95. Daarbij verlengt u de lijn 48—50 tot u bij de twee sterren komt, waarvan 95 de meest zuidelijke is. Nu zoekt u ster 97 op en ook 101 en 102.

*) *In fig. 103 zijn v_1 en v_2 per abuis verwisseld.*

**) *Zonder zenithprisma!*

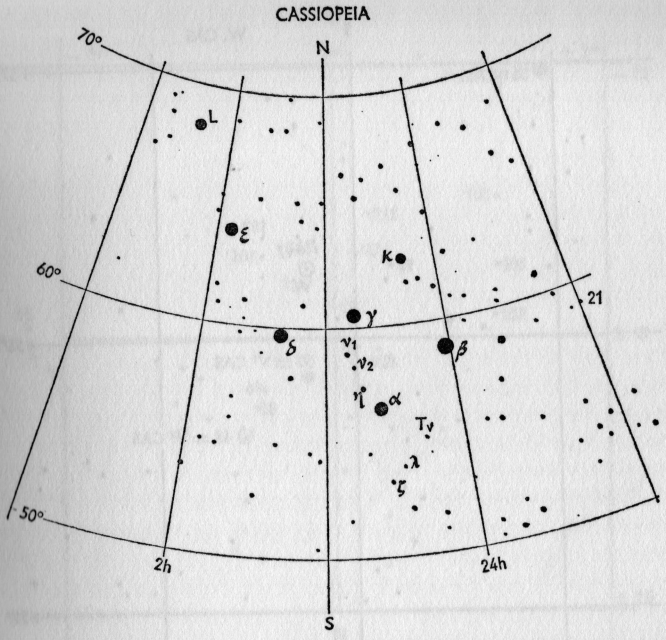


Fig. 103

Het zal nu niet veel moeite kosten om de ster W Cas te vinden. De helderheid van de veranderlijke is u niet bekend, maar deze varieert tussen 8.8 en 11.0. De ster kan dus zwakker zijn dan 102, maar ook helderder dan 95, maar deze is steeds zwakker dan 82. Als we nu zover zijn dat we de ster hebben gevonden, dan is het gemakkelijk om een kaartje te gaan gebruiken met wat grotere schaal: fig. 105 toont ons het vereiste kaartje, waar de veranderlijke in het midden staat. Het vierkant heeft zijden van 30′. Dit kaartje bevat nog enkele zwakkere sterren en wel tot 12.8 mag. Met een 60 mm kijker zult u de sterren 121 en 128 niet kunnen zien. Met een goede 100 mm kijker en bij hoge stand aan de hemel en mooie heldere lucht is 121 zeker en 128 misschien ook nog te zien. Voor een 150 mm kijker van goede kwaliteit mag 128 geen moeilijkheden geven.

U gaat nu alle sterren van het kaartje (fig. 105) opzoeken en u overtuigt u ervan, dat wanneer men overgaat van 101 naar 102 en dan naar

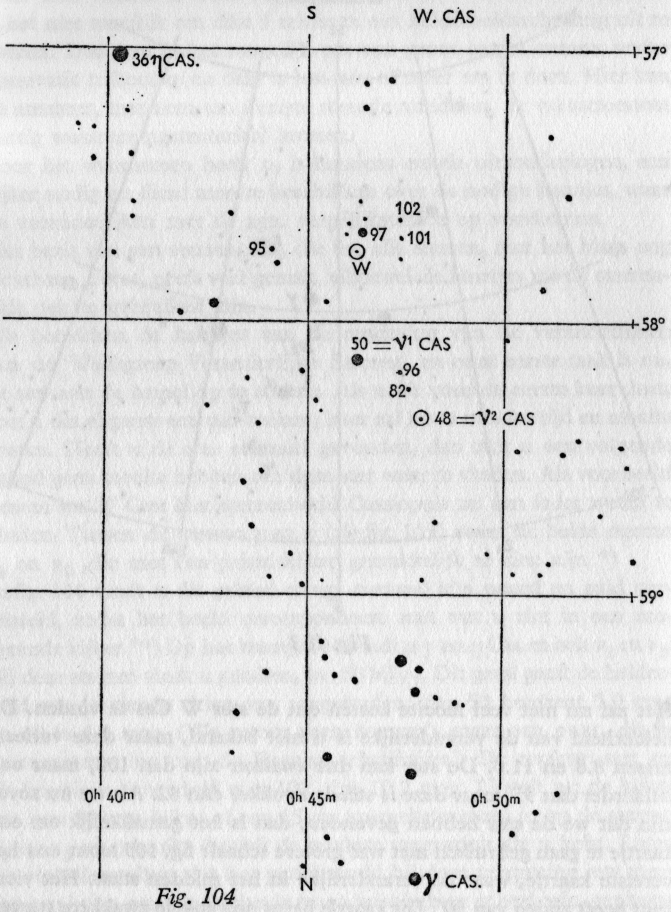


Fig. 104

107 enz., dat elke volgende ster zwakker is dan zijn voorgaande. Hier schuilt dan meteen een moeilijkheid. Sterren hebben een kleur en ieder mens ziet anders. De een ziet bv. rood als een donkere kleur, een ander als een lichte kleur. Aangezien de vergelijkingssterren niet alle van dezelfde kleur zijn, kan het voorkomen, dat u de helderheidsverschillen iets anders ziet dan ze op het kaartje voorkomen. Als dat zo is, dan

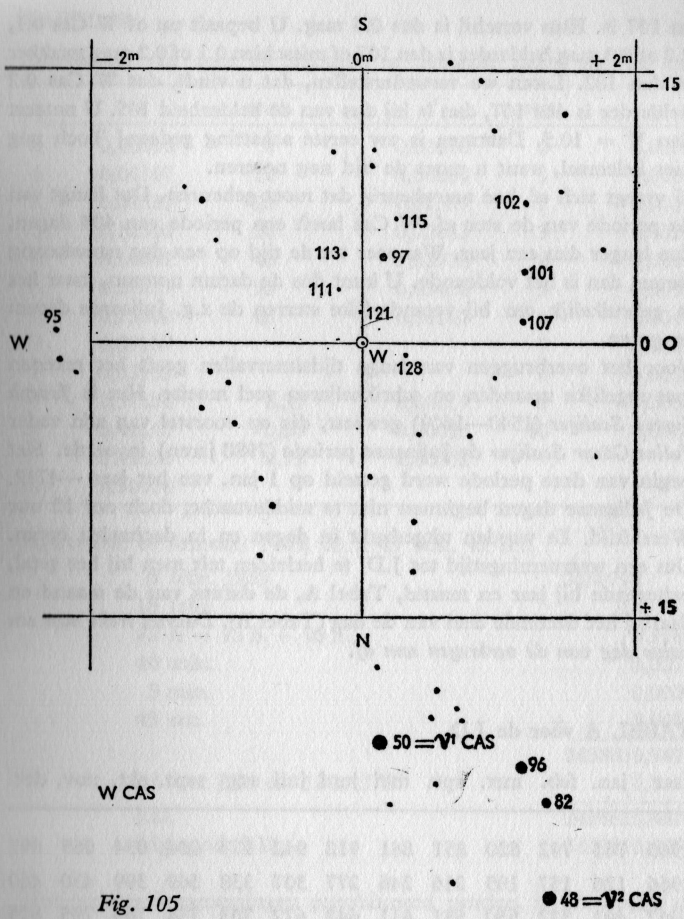


Fig. 105

maakt u daar aantekening van. Stel, dat u vindt, dat 101 zwakker is dan 102 in plaats van helderder. U tekent dit aan en u doet er goed aan om 101 niet te gebruiken bij het schatten, zoals aanstonds besproken wordt.

Nu het schatten! Allereerst bepaalt u tussen welke sterren de helderheid van W Cas gelegen is. Laten we aannemen, dat dit tussen 102

en 107 is. Hun verschil is dus 0.5 mag. U bepaalt nu of W Cas 0.1, 0.2 of 0.3 mag helderder is dan 107 of misschien 0.1 of 0.2 mag zwakker is dan 102. Laten we veronderstellen, dat u vindt, dat W Cas 0.2 helderder is dan 107, dan is hij dus van de helderheid 105. U noteert dan V = 10.5. Daarmee is uw eerste schatting gedaan! Toch nog niet helemaal, want u moet de tijd nog noteren.

U vraagt zich af, hoe nauwkeurig dat moet gebeuren. Dat hangt van de periode van de ster af. W Cas heeft een periode van 404 dagen, dus langer dan een jaar. Wanneer we de tijd op een dag nauwkeurig weten, dan is het voldoende. U kunt dus de datum noteren, maar het is gebruikelijk om bij veranderlijke sterren de z.g. Juliaanse datum te geven.

Voor het overbruggen van lange tijdsintervallen geeft het rekenen met ongelijke maanden en schrikkeljaren veel moeite. Het is *Jozeph Justus Scaliger* (1540—1609) geweest, die op voorstel van zijn vader *Julius Cäsar Scaliger* de Juliaanse periode (7980 jaren) invoerde. Het begin van deze periode werd gesteld op 1 jan. van het jaar —4712. De Juliaanse dagen beginnen niet te middernacht, doch om 12 uur Wereldtijd. Ze worden uitgedrukt in dagen en in decimalen ervan. Om een waarnemingstijd tot J.D. te herleiden telt men bij het getal, behorende bij jaar en maand, Tabel A, de datum van de maand en daarbij het decimale deel van de dag (Tabel B). *Daarna trekt men een halve dag van de verkregen som af.*

TABEL A voor de J.D.

Jaar	jan.	feb.	mrt.	apr.	mei	juni	juli	aug.	sept.	okt.	nov.	dec.
1965	761	792	820	851	881	912	942	973	004	034	065	095
1966	126	157	185	216	246	277	307	338	369	399	430	460
1967	491	522	550	581	611	642	672	703	734	764	795	825
1968	856	887	916	947	977	008	038	069	100	130	161	191
1969	222	253	281	312	342	373	403	434	465	495	526	556

J.D. tot sept. 1965 = 2.438.000 + tabelwaarde.
J.D. tot juni 1968 = 2.439.000 + tabelwaarde.
J.D. vanaf juni 1968 = 2.440.000 + tabelwaarde.

TABEL B

Omrekenen van uren en minuten in decimale delen van de dag:

h	*d*	*min.*	*d*	*min.*	*d*
0	0,00000	0	0,00000	0	0,00000
1	0,04167	10	0,00694	1	0,00069
2	0,08333	20	0,01389	2	0,00139
3	0,12500	30	0,02083	3	0,00208
4	0,16667	40	0,02778	4	0,00278
5	0,20833	50	0,03472	5	0,00347
6	0,25000	60	0,04167	6	0,00417
7	0,29167			7	0,00486
8	0,33333			8	0,00556
9	0,37500	0,25	0,00017	9	0,00625
10	0,41667	0,50	0,00035	10	0,00694
11	0,45833	0,75	0,00052		
12	0,50000				

Voorbeeld: 18 februari 1965, 22 h 43 min. 45 sec.

0 febr. 1965		2438792
18 febr.		18
22 h = 12 h + 10 h		0.91667
40 min.		0,02778
3 min.		0,00208
45 sec.	+	0,00052
		2438810,94705
Af voor J.D. om 12 h U.T.	—	0,5
J.D.		2438810,44705
Afgerond: J.D.		2438810,4470

Wanneer uw waarnemingen gepubliceerd worden, is het nodig, dat men weet wat de opening van uw kijker is en welke vergroting u heeft toegepast.

Bij het insturen van waarnemingen aan de 'Werkgroep Veranderlijke Sterren' maken we gebruik van een code, bestaande uit een cijfer en een letter, waarmee zowel de kwaliteit van de schatting als die van de atmosfeer, alsook de opening van de kijker en de toegepaste vergroting worden vastgelegd.

Daartoe maken we gebruik van de tabellen C + D.

TABEL C

Atmos-feer	Kwaliteit 1	2	3
1	1	2	3
2	4	5	6
3	7	8	9

Wanneer de waarnemer atmosfeer en/of kwaliteit niet vermeldt, wordt cijfer 0 gebruikt.

Kwaliteit

1. U bent er zeker van goed geschat te hebben.
2. U twijfelt aan uw schatting.
3. U twijfelt en uw schatting werd ongunstig beïnvloed door maanlicht of door de nabijheid van de veranderlijke bij een heldere ster of omdat de vergelijk-ster ver weg stond van de veranderlijke.

Afmosfeer

1. Mooi helder weer zonder bewolking.
2. Helder, doch met lichte bewolking.
3. Mistig of dunne bewolking, die de schatting ongemerkt zou kunnen beïnvloeden.

In uw waarnemingsboek kunt u dus de kwaliteit en de atmosfeer met een cijfer aangeven.

TABEL D

vergroting	opening v. d. kijker	tot 50 mm	van 50 tot 100	van 100 tot 150	van 150 tot 250	groter dan 250 mm
tot 15 ×		a	b	c	d	e
van 15 × tot 50 ×		f	g	h	i	j
van 50 × tot 100 ×		k	l	m	n	o
van 100 × tot 200 ×		p	q	r	s	t
meer dan 200 ×			u	v	w	x

De letter y gebruiken we voor een waarneming, waarbij het instrument en/of de vergroting onbekend is. De letter z gebruiken we als de waarneming met het ongewapend oog is uitgevoerd.
Een kennelijk foutieve waarneming krijgt als code een streep —.

Voorbeeld: Code 7 h betekent dus:

atm. toestand: 3; kwaliteit v/d schatting: 1.
Opening instrument tussen 100 en 150 mm.
Toegepaste vergroting: tussen 15 en 50 ×.
Zij, die met het schatten beginnen, vragen zich met recht af, of er met het schatten geen al te grote fouten worden gemaakt. Het is zo, dat men na enige oefening (b.v. na 200 schattingen) een nauwkeurigheid kan bepalen van 0.1 à 0.2 mag en na langdurig oefenen wordt dit nog iets beter, maar 0.05 mag is toch wel de grens. We zijn echter met 0.1 à 0.2 mag tevreden, vooral als het sterren betreft met een amplitudo van 5 of meer grootte-klassen.
Nu lijkt de zo bereikte nauwkeurigheid mooier dan ze in werkelijkheid is. Gaan we nl. waarnemingen van verschillende waarnemers vergelijken, dan zijn de onderlinge verschillen veel groter en 0.5 mag is geen uitzondering.

3 Het waarnemen van kunstmanen *(L. J. Lantwaard)*

1. Inleiding

Beschreven zal worden de techniek van het waarnemen met behulp van optische middelen om de positie van een kunstmaan vast te leggen zowel visueel als fotografisch. Een groot aantal systemen voor kunstmaan-waarnemingen is in gebruik, variërend van de simpelste blote oog observatie met een plaatsnauwkeurigheid aan de hemel van 1 graad en een tijdsnauwkeurigheid van 1 seconde, tot die van de ingewikkelde Baker-Nunn-camera's, die een nauwkeurigheid halen van 2 boogseconden in positie en 1 milliseconde in tijd. Er zijn echter voor geodetisch werk nog nauwkeuriger waarnemingen nodig en stations hiervoor zijn al in ontwikkeling. Mei 1965 zijn er ca. 300 kunstmanen in de ruimte; in Nederland worden er ca. 40 regelmatig waargenomen.

2. Kunstmanen en het doel van het waarnemen

De kunstmanen die in hun baan gebracht zijn sinds 4 oktober 1957 vertonen een grote variatie in hun banen en afmetingen, afhankelijk van het doel waarvoor zij gelanceerd zijn. Hun omloopperioden varieerden van 86 minuten tot gehele etmalen. De excentriciteit van nul tot bijna 1. De inclinatie (dat is de hoek die de baan met de evenaar maakt) varieerde van 28° tot 114°. De afmetingen varieerden van 15 cm

bolletjes tot een 40 m grote ballon, het gewicht van 1,5 kg tot meer dan 12 ton.
De kunstmanen werden gelanceerd om de natuurkundige toestand in de ruimte te onderzoeken en o.a. te meten: de luchtdichtheid op verschillende hoogten, het magnetisch veld, de ionendichtheden en de straling van diverse soorten; om het gravitatieveld te bestuderen, de verdeling van de massa, de afmetingen van de aarde zelf, en om de maan en de planeten te bestuderen. Kunstmanen zijn gebruikt als actief en passief telecommunicatie-relaystation; om een oogje te houden op het weer op aarde; en voor een grote verscheidenheid van militaire doeleinden. Kunstmanen hebben dieren, planten en mensen in de ruimte gebracht om de levensomstandigheden daar te bestuderen. Men moet in staat zijn kunstmanen van al die soorten waar te nemen om een maximum aan informatie te verkrijgen. Het waarnemen van kunstmanen kan geschieden voor verschillende doeleinden.

A. Bewaking. Met het grote aantal kunstmanen dat nu in een baan om de aarde draait, is het van grote waarde dat elke kunstmaan regelmatig wordt waargenomen omdat men anders de kans loopt deze uit het oog te verliezen. Een positiebepaling met een nauwkeurigheid van enige kilometers is voldoende. Snelle doorzending van waarnemingen naar de rekencentra is gewenst. Elektronische waarnemingssystemen zijn hier op zijn plaats, daar deze veel informatie automatisch kunnen doorgeven aan de rekencentra.

B. Plaatsbepaling voor de instrumenten aan boord. Een kunstmaan die instrumenten vervoert, moet waargenomen worden om te weten op welke plaats in de ruimte wordt gemeten. De nauwkeurigheid van plaatsbepaling is sterk gevarieerd; voor sommige experimenten is 10 à 20 km voldoende, voor andere experimenten en navigatie moet de positie binnen 100 meter bekend zijn.

C. Afstandsbediening en besturing. Kunstmanen die van de grond hun commando's krijgen moeten waargenomen worden om het commando op de juiste tijd en positie te kunnen geven. In de meeste gevallen is geen grote nauwkeurigheid nodig. Wanneer kunstmanen worden bestuurd vanaf de grond is een groter nauwkeurigheid in plaatsbepaling nodig en tevens een snelle verwerking van de verandering in baangegevens. Dit laatste is zeer belangrijk en hiervoor komen dus elektronische systemen meer in aanmerking. Wetenschappelijke gegevens

die verkregen worden uit afwijkingen van de baan van een kunstmaan vereisen een hoge graad van nauwkeurigheid. Tegenwoordig worden deze baangegevens hoofdzakelijk gebruikt om de luchtdichtheid en de gravitatiepotentiaal van de aarde te bepalen voor geodetische positiebepaling.

a. Luchtdichtheidsmetingen. De verandering van de omloopperiode van een kunstmaan hangt in de eerste plaats af van de atmosferische dichtheid in het perigeum (dat is het laagste punt van de baan). De studie van de dichtheid op grote hoogten wordt bemoeilijkt doordat de kunstmaan daar maar weinig afwijkingen krijgt. Toch is het belangrijk hierover meer gegevens te krijgen, daar hier variaties in de dichtheid optreden door zonne-activiteit (zonnewind). De nauwkeurigheid van de waarnemingen moet liggen binnen enkele boogseconden in positie en 0,01 sec. in tijd.

b. Gravitatieveld van de aarde. Afwijkingen in de baanelementen van kunstmanen zijn functies van de coëfficiënten van het gravitatieveld van de aarde. Om deze coëfficiënten met de vereiste nauwkeurigheid vast te leggen, zijn waarnemingen nodig die de positie van een kunstmaan binnen enkele tientallen meters vastleggen.

c. Geodesie. Een kunstmaan kan gebruikt worden als ruimtelijk punt voor een driehoeksmeting om passieve afstanden op aarde te bepalen (bijv. tussen de continenten) en voor navigatie-doeleinden. De vereiste nauwkeurigheid is enkele boogseconden in positie en enkele milliseconden in tijd.

3. Verlichting en helderheid van een kunstmaan

Om zichtbaar te zijn voor waarnemingen moet een kunstmaan verlicht zijn. Daar zij klein is en het moeilijk is een intensieve verlichting te verkrijgen, moet zij worden geobserveerd tegen een donkere hemelachtergrond. De eenvoudigste bron om een kunstmaan te verlichten is de zon. Uitgezonderd kunstmaan Anna die haar eigen flitslicht had, worden alle kunstmanen waargenomen in het kleine gedeelte van de baan waarbij de kunstmaan nog in het zonlicht is en de waarnemer in het donker, dus tijdens de schemering (fig 106). De helderheid van een kunstmaan wordt uitgedrukt in stermagnituden. Daar de zon als belichter wordt gebruikt, hangt de weerkaatsing van het zonlicht door de kunstmaan van vele factoren af, waarvan de belangrijkste de vorm,

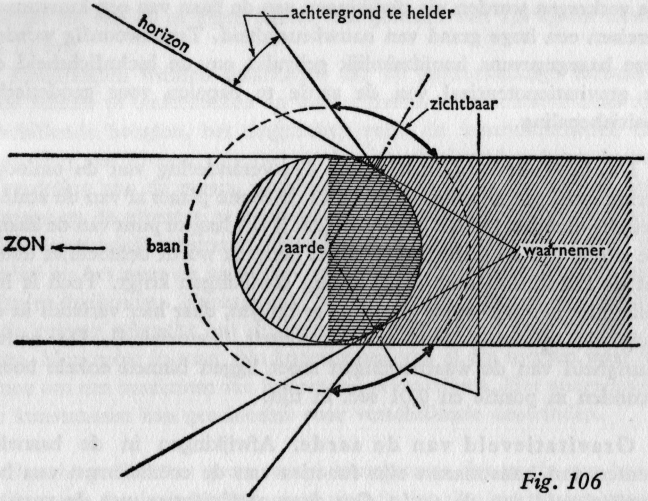


Fig. 106

omvang en de aard van het oppervlak van de kunstmaan zijn, de afstand van de waarnemer tot de kunstmaan en de hoek waaronder hij deze met de zon ziet. Deze factoren variëren sterk, bijvoorbeeld 1960 i I (*Echo I*) had een diameter 200 maal groter dan 1958 β 2 (*Vanguard I*). De helderheid verschilde van de 11e tot 12e magnitude voor de Vanguard tot negatieve magnituden voor de Echo.

4. Zichtbaarheid en voorspellingen

Om zichtbaar te zijn voor een waarneming moet de kunstmaan boven de horizon van het waarnemingsstation zijn, terwijl zij helderder moet zijn dan de hemelachtergrond. Deze condities worden voor lage kunstmanen alleen verkregen gedurende de schemering. Hogere kunstmanen kunnen soms tot na middernacht zichtbaar zijn.
Een waarnemingsstation moet voorspellingen hebben waar en wanneer een kunstmaan het station passeert en zichtbaar is. Afgezien van zichtbaarheid, de verwachte positie van de kunstmaan moet ook de tijd waarop deze gegevens betrekking hebben gegeven zijn om een eventuele camera op tijd in werking te kunnen stellen.
Dit is zeer belangrijk voor zwakke kunstmanen die niet met het blote oog gezien kunnen worden en voor snelbewegende kunstmanen

waarbij er geen tijd is om de camera in te stellen. De nauwkeurigheid van de voorspellingen hangt af van de opbouw van de waarnemingsinstallatie en van het gezichtsveld van het optische systeem. Een nauwkeurigheid van één graad in positie en één seconde in tijd is meestal voldoende. Voor kunstmanen met regelmatige banen kunnen voorspellingen worden gemaakt voor een week of meer, maar voor lage kunstmanen (voortdurende afremming) worden de voorspellingen met kortere tussenpozen gegeven. Voor een kunstmaan die haar einde nadert (verbranding in de dampkring) zijn dagelijkse voorspellingen nodig vanwege de niet te voorspellen variaties in luchtweerstand die de kunstmaan dan ondervindt. De vorm waarin in Nederland de voorspellingen aan kunstmaanwaarnemers wordt gepresenteerd is een code die er als volgt uitziet:

St. 1 Sat. 63.031

Day	64.0429			Rev. 7138			20	41.6
21	13.6	+ 143.6	+ 26.4	4 09.5	+ 52.6		1018	+ 5.0
21	14.6	+ 120.1	+ 40.7	6 41.6	+ 48.4		749	+ 4.4
21	15.6	+ 69.6	+ 46.2	9 05.2	+ 24.9		684	+ 4.2
21	16.6	+ 32.9	+ 32.7	10 20.1	— 0.5		869	+ 4.7
21	17.6	+ 18.3	+ 20.4	10 58.5	— 15.8		1193	+ 5.4

St. 1 betekent het afgekorte stationsnummer van Utrecht. Elke waarnemer heeft zijn eigen stationsnummer. Zo zijn er in Nederland de volgende kunstmaanstations die op de lijst van *Cospar* (*C*ommittee *on Spac*e *R*esearch Established by International Council of Scientific Unions) voorkomen:

4101	Utrecht	4119	Oost Souburg
4108	Zwijndrecht	4124	Beverwijk
4110	Bussum	4125	Vreeswijk
4112	Olst		

Sat. 63.031 is het code nummer van de kunstmaan. 63 betekent dat zij in 1963 is gelanceerd, 03 betekent dat het de 3e kunstmaan is die in 1963 is gelanceerd. De laatste 1 betekent dat het de kunstmaan zelf is. 2, 3 enz. zijn de volgende delen van de raket of bijkomende metaalobjecten.

Day 64.0429 is het jaar, de maand en de dag waarvoor de voorspelling geldt. Dus hier 1964, april de 29ste. Rev. 7138 is het omloopsnummer.

20 41.6 is de tijd waarop de kunstmaan de evenaar passeert (knoop doorgang). Dit is alleen van belang voor het berekenen van de voorspelling door de rekenaar in Utrecht. Het rekenwerk, verbonden aan de voorspellingen zal niet worden beschreven. De gang van zaken is als volgt. Utrecht ontvangt van de buitenlandse rekencentra voorspellingstelegrammen met getallen die omgerekend worden en op een ponsband worden overgezet. Een rekenmachine X 1 verwerkt de gegevens en print ze meteen op het papier dat de waarnemers toegestuurd krijgen. Daar de waarnemers verschillende posities hebben moet voor elke waarnemer een aparte ponsband gemaakt worden.
Keren we terug naar het codevoorbeeld, dan zien we in de 1ste kolom de tijd waarop de kunstmaan is voorspeld in U.T. (Universal Time of wereldtijd), die één uur vroeger is dan onze tijd. Voor 21 13.6 moet u dus lezen 10 uur 13,6 min. (13 min. 36 sec. s'avonds). De tweede kolom bevat de positie uitgedrukt in graden azimuth. Nul graden is Zuid, 90° is West, 180° is Noord en 270° is Oost. De derde kolom bevat de positie uitgedrukt in hoogte in graden boven de horizon. Voor hen die een equatoriale opstelling hebben dienen de kolommen vier en vijf, nl. rechte klimming en declinatie.
In kolom 6 is de afstand van de kunstmaan tot de waarnemer vermeld (in km) en in kolom 7 tenslotte de verwachte helderheid in magnituden.

5. Waarnemen

Wanneer de voorspelde baan met zacht potlood op de atlas is ingetekend zal één blik voldoende zijn om te zien welke groep van sterren het beste kan worden gebruikt als referentie-sterren.
Een lijn van 3 of 4 sterren van de 4e, 5e of 6e grootte met tussenruimte van ongeveer $\frac{1}{2}°$ loodrecht op de voorspelde baan vormt een ideaal referentiesysteem; maar elke groep sterren helder genoeg om enkele daarvan terug te vinden in Norton's atlas kan worden gebruikt.
De gedetailleerde methoden van waarnemen zullen verschillen van persoon tot persoon afhankelijk van zijn instelling.
Omdat deze methoden van groot belang zijn voor nieuwe waarnemers zal ik deze beschrijven in al hun details.
Vier minuten vóór de voorspelde tijd trek ik mijn overjas aan, een stopwatch en potlood in de rechterzak en een tweede stopwatch en een staaflantaarntje in de linkerzak, hang de 7 × 50 veldkijker om mijn nek, pak de norton atlas met een bladwijzer op de plaats van de juiste bladzijde en nadat alle licht dat in de tuin kan stralen uitgedaan is, stap ik de tuin in en neem plaats op een ligstoel met leuningen,

de rugsteun op de laatste nok. De stoel is geplaatst in de observatierichting!
Met behulp van de staaflantaarn bekijk ik nog even de baan en de sterrengroepen en zoek de referentie-sterren op door de veldkijker, steeds weer terugkerende naar het punt 5—10° vóór de eerste referentiegroep. De veldkijker wordt met de linkerhand stevig vastgehouden en met de rechterhand ondersteund door een paar vingers, de overige vingers houden de stopwatch vast, klaar om in te drukken.
Als de kunstmaan niet direct wordt gezien, zwaai ik gewoonlijk heen en terug over ongeveer 10—20° van de baan: dit helpt ook tegen de vermoeidheid van armen en ogen en soms resulteert het in het vinden van de kunstmaan die op een ander punt niet te zien was omdat zij in een zwakke helderheidsfase was.
Zodra de kunstmaan is gezien (op heldere nachten in 90% van de gevallen voor goed voorspelde en heldere kunstmanen) zwaai ik het gezichtsveld heen en weer tussen de kunstmaan en de referentie sterren om na te gaan of ik de gekozen referentie sterren gebruiken kan. Indien dit niet het geval is moet snel een nieuwe groep referentiesterren worden gekozen. Ik start de stopwatch als de kunstmaan de lijn tussen twee gekozen sterren van de referentiegroep passeert en op hetzelfde moment schat ik de positie tussen de twee sterren in de vorm van: Zij was op $^{7}/_{10}$ van de afstand tussen de eerste en tweede ster. Voortgaande met volgen van de kunstmaan met de veldkijker maak ik een tweede waarneming tussen 2 andere sterren, nadat ik de tweede stopwatch heb gepakt, en deze met enkele vingers van de linkerhand vasthoud. De helderheid van de kunstmaan wordt daarna vastgelegd door vergelijking met de sterren.
Als alles goed gelukt is teken ik de waarnemingspunten in op de Norton atlas en ga weer naar binnen. De radio ontvanger was reeds afgestemd op een continue tijdsein. Ik wacht nu tot een hele-minutenpip wordt gehoord en tel daarna mee tot 10 om dan beide stopwatchen juist op de 10e seconde te stoppen. Eén blik op de elektrische klok geeft nu de juiste minuut die wordt genoteerd.
Stel voor dat de stopwatchen gestopt werden om 22 h 13 min. + 10 sec. nederlandse tijd dan wordt dit 21 h 13 min. + 10 sec. U.T. De aanwijzingen van de stopwachten op (0,1 sec. nauwkeurig) worden hiervan afgetrokken en zo krijgt men de twee waarnemingstijden.
Heeft men geen continue tijdsein dan moet men wachten op het eerstvolgende middengolftijdsein en stopt op de 6e pip (afwijking van de stopwatch in rekening brengen). Nu blijft er nog de positiebepaling

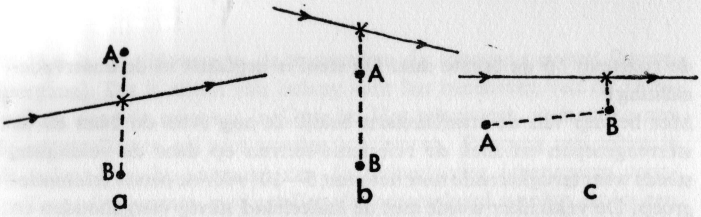


Fig. 107

in rechte klimming en declinatie. Dit wordt gedaan op de Scalnate Pleso, die voor dit doel aan de selecte waarnemers in bruikleen wordt gegeven. Beginners kunnen volstaan met de Norton.
De gegevens worden in de SATEV code gezet en per briefkaart opgezonden naar de Sterrewacht Utrecht.
Afgezien wat voor methode men ook volgt, zijn er een aantal moeilijkheden die waard zijn genoemd te worden.
Het komt niet altijd voor dat de kunstmaan juist tussen twee sterren door gaat. Men kan dan de volgende methoden toepassen. Zoals reeds vermeld, is methode *a* (fig. 107) ideaal waarbij de referentiesterren A en B $\frac{1}{2}°$ van elkaar staan, van gelijke magnitude zijn en niet te veel met de kunstmaan in helderheid verschillen. Een nog betere waarneming kan gedaan worden als de kunstmaan toevallig een ster bedekt maar dit kan, net zo als de honderdduizend, niet van te voren worden voorspeld. In de praktijk komen deze toestanden niet altijd voor, omdat de kunstmaan de voorspelde baan niet geheel volgt. Dan moet de waarnemer nieuwe referentiesterren kiezen en kan het voorkomen dat hij een te zwakke referentiester kiest die niet op de atlas voorkomt. Het is in dat geval beter een van de getekende gevallen onder *b* of *c* te kiezen.
Kunstmanen bewegen met een snelheid van 0,5—1 graad per sec., hetgeen overeenkomt met 0,05—0,1 graad in 0,1 sec. (onze tijdnauwkeurigheid). Als de referentiesterren 0,5° van elkaar staan en men schat de plaats bepaling op tiende delen van de afstand tussen de twee referentiesterren dan komt men op een nauwkeurigheid van 0,05° in positie. Hieruit blijkt dus dat men goed moet kunnen schatten om met de tijdnauwkeurigheid in de pas te blijven.
De ideale toestand is bereikt wanneer men de kunstmaan al in het vizier heeft lang voordat deze de gekozen groep referentiesterren passeert.
Er zijn een paar uitzonderingen op deze regel. Soms is het verstandig de kunstmaan waar te nemen op het hoogste punt boven de horizon. Dit is de beste methode wanneer de atmosfeer heïig is. Zeer zwakke

kunstmanen worden het beste waargenomen bij het hoogste punt van de baan waar de hoek met de zon het grootst is (groter reflectievlak). Als de kunstmaan 's avonds gaat van N.W. naar Z.O. is zij het helderst in het gedeelte van de baan in het Z.O., vooropgesteld dat zij daar niet net in de aardschaduw verdwenen is. Ook is de hemelachtergrond in het Z.O. donkerder dan in het N.W. hetgeen voordelig werkt.

Als een kunstmaan in de aardschaduw verdwijnt voordat men een waarneming heeft gedaan, maak dan een aantekening en neem de volgende keer een 20° vóór dat punt de laatste referentiesterren.

Sommige waarnemers nemen liever 3 waarnemingspunten dan twee voor één overgang. Dit kost meer tijd maar geeft ook meer nauwkeurigheid. Voor de controle of men inderdaad de juiste kunstmaan heeft waargenomen (er zijn er langzamerhand zoveel!) moet men minstens 2 punten per omloop vastleggen.

De meest gebruikelijke binoculairs bij het waarnemen van kunstmanen tot magn. 6 à 7 zijn 7 × 50 of 8 × 60 met een veld van ongeveer 5°. Voor zwakke kunstmanen magn. 7 en hoger is 11 × 80 met een veld van 4° het beste.

Het vinden van de kunstmaan en het bepalen van zijn positie, zijn twee verschillende dingen.

Als de voorspellingen goed zijn, is de methode van 5° à 10° heen en terugzwaaien langs de verwachte baan voldoende. Maar de meest waardevolle waarnemingen zijn meestal van slecht voorspelde kunstmanen: het is dan nodig om zo'n 5 minuten voor de voorspelde tijd met kijken te beginnen. Omdat de aarde in die 5 minuten roteert ligt de baan van de kunstmaan 1° verder in oostelijke richting als de kunstmaan 4 minuten eerder komt; 2° verder als zij 8 minuten eerder komt enz.

Als de kunstmaan helder is en het zicht is goed, kan het effect van deze verplaatsing worden verkleind door waar te nemen op het punt van de baan 10° à 20° boven de horizon.

Als de kunstmaan nl. haar baan heeft in de richting noord-zuid en in het zenith op 200 km hoogte overkomt zal bij een afwijking van 4 minuten met de voorspelde tijd de hoogte ongeveer 20° veranderen. Als zij echter 500 km verder in het oosten geobserveerd wordt, zal een tijdfout van 4 minuten de hoogte veranderen van 19° tot 16° dus een verandering binnen het veld van de kijker.

Als men dan iets onder de baan kijkt vóór de voorspelde tijd en iets erboven na de voorspelde tijd zit men ongeveer goed (voor het westen dus net andersom).

Voor kunstmanen op een hoogte van enige duizenden km zal de verandering in hoogte veroorzaakt door afwijkingen in voorspelde tijd gedeeltelijk gecompenseerd worden door de schijnbare beweging van de sterren in die tijd. Nemen we als voorbeeld een polaire kunstmaan die ongeveer recht boven ons passeert op 4000 km hoogte dan zal de verandering in hoogte 1,6° bedragen als zij 4 minuten later passeert, terwijl de sterren in 4 minuten schijnbaar 0,6° verplaatsen in dezelfde richting. (Alles gerekend op 52° noorderbreedte).
Als de lucht gedeeltelijk bedekt is met snel bewegende wolken, wat nog al eens gebeurt, is het het beste om de baan te vergelijken met de dichtstbijzijnde helderste sterren en heen en weer te zwaaien op de baan tussen die heldere sterren. Men heeft dan enig houvast aan de ligging van de baan ten opzichte van die heldere sterren.
Als de kunstmaan zo helder is dat zij met het blote oog te zien is, is het meestal het beste haar op te zoeken met het blote oog, (vooral als de tijd twijfelachtig is), waarna overgegaan wordt op de plaatsbepaling met de veldkijker.
Als de kunstmaan zeer zwak is, op de grens van zichtbaarheid, kan zij soms opgespoord worden door de kijker langs de baan te bewegen met de verwachte snelheid van de kunstmaan.
Als de kunstmaan alleen te zien is tijdens een heldere flitsperiode met lange intervallen tussen twee flitsperioden, kan men het beste snel heen en weer zwaaien met de kijker over een gedeelte van ongeveer 30 graden van de voorspelde baan.
Meer dan 2 minuten naar een bepaald sterrenhoopje staren heeft geen zin. Beweging zal het oog waakzamer houden.
Er is veel verschil van mening over het te gebruiken instrument. Velen menen dat een kleine vast opgestelde kijker beter is dan een prismakijker in de bewegende hand. Ik zal U trachten te overtuigen van het voordeel van een prismakijker.

1. De meest waardevolle waarnemingen zijn niet die, gemaakt van kunstmanen in een stabiele, gemakkelijk te voorspellen baan, maar die van kort levende kunstmanen met steeds veranderende banen. Omdat dus de baanvoorspellingen afwijken van de werkelijke baan moet het observatie-instrument een groot veld hebben, 5° of meer indien mogelijk, om een afwijking van $\pm$ 2° in de voorspelde baan toe te laten.
2. Het instrument moet gemakkelijk de baan kunnen volgen en wel om drie redenen:

a. De waarnemer moet in staat zijn de kunstmaan te volgen en nieuwe referentiesterren te zoeken als de kunstmaan niet de tevoren gekozen referentiesterren passeert.

b. Twee waarnemingen per omloop is beter dan één om de mogelijke fouten te verminderen en om te controleren of de richting van de baan dezelfde is als de voorspelde waarbij de kans een verkeerde referentiester, of een verkeerde kunstmaan waar te nemen sterk vermindert.

c. Het is gebruikelijk de kunstmaan te volgen na de laatste waarneming om de variaties in helderheid te noteren of onzekerheden in de identificatie te controleren. Bijvoorbeeld als de kunstmaan ineens een baanafwijking maakt kan het een vliegtuig zijn.

Lichte in de hand gehouden prismakijkers zijn te verkiezen boven allerhande telescopen.

3. De waarnemingen moeten betrouwbaar zijn: daarvoor moeten we de sterren gemakkelijk kunnen opzoeken. Opnieuw is een groot veld hier van belang.

4. Het instrument moet snel en gemakkelijk gehanteerd kunnen worden Ook hier is een prismakijker beter dan telescopen op een statief.

5. Het instrument moet ook toestaan zeer zwakke kunstmanen waar te nemen. Aan deze voorwaarde kunnen de prismakijkers niet voldoen en hoewel een prismakijker bij 95% van alle waarnemingen kan worden gebruikt is hier een compromis op z'n plaats. Voor hen die ook de zeer zwakke kunstmanen willen waarnemen is een kleine telescoop te gebruiken, vast gemonteerd en gericht op een bepaald punt van de baan. Men moet echter wel bedenken dat een plotseling verschijnende kunstmaan die na 1 sec. alweer verdwenen is de nauwkeurigheid nadelig beïnvloeden kan.
Toch kan vanwege het zeer kleine veld de nauwkeurigheid beter zijn dan met een prismakijker, maar dan moet men wel gewend zijn aan het schokelement van de plotseling verschijnende kunstmaan.
Nu nog iets over de ligging van het waarnemingsstation. Het ideale station heeft vrij zicht tot de horizon in alle richtingen, zonder aardse lichtbronnen binnen een straal van vele kilometers, een klein eiland midden in zee, misschien. In Nederland vinden we zoiets niet en daarom kunnen we enige maatregelen nemen om de

dingen die ons kunnen hinderen bij het waarnemen wat te elemineren. Coniferen aan de rand van de tuin of beter een schutting, geplaatst aan de zijde vanwaar het storend licht komt, kunnen goede diensten bewijzen. Een verplaatsbaar scherm kan helpen om storend maanlicht te onderscheppen. Waarnemingsstations moeten, indien mogelijk, gesitueerd worden bovenwinds van een grote stad. Voor Nederland, met de overheersende westenwinden dus ten westen van een grote stad.

Boven op een heuvel is beter dan in een dal om lage mist te vermijden en de horizon te kunnen zien. Men moet echter de post niet al te open maken want de winterse oostenwind kan zeer onaangenaam zijn met als gevolg, tranen in de ogen en bibberende handen enz. Zo fanatiek behoeft U echt niet te zijn.

Aan de voornaamste voorwaarde voor een waarnemingspost kan in Nederland niet altijd worden voldaan nl. een heldere hemel!

6. Precessie-vereffening

Alle waarnemingen worden in de rekencentra verwerkt voor een gradennet met equinoxe 1950. Gebruikt men dus een atlas met een andere equinoxe dan moet men de positie vereffenen naar equinoxe 1950. De vereffeningstabellen zijn in de atlassen weergegeven.

7. Tijdseinen

Behalve de bekende zes pipjes van de zenders Hilversum I en II en diverse buitenlandse zenders bestaan er tijdseinzenders speciaal ten behoeve van astronomisch werk en navigatie.

A. *M.S.F. Rugby, Middlesex, England.* Deze zender wordt gestuurd door een zeer nauwkeurige kwartsklok, die continu vergeleken wordt met een atoomstandaard op het National Physical Laboratory te Teddington (= AT-tijd). De uitzendingen geschieden gedurende de hele dag met tussenpozen van 5 min. op de frequenties 2.5, 5.0 en 10.0 MHz. Gedurende de even 5 min. worden pulsen gegeven in de vorm van een 1000 Hz amplitude modulatie van de draaggolf, gedurende 5 msec. voor de seconde-pulsen, en 100 msec. voor de minutenpulsen.

In de 30 sec. voor het begin van iedere 5 min.-periode wordt een aankondiging in morse gegeven: 3 × MSF: da-da di-di-di di-d-da-di, waarna eveneens in morse-code een tijdcorrectie volgt. Wanneer de uitzendingen meer dan 50 msec. van AT gaan afwijken, volgt op de

eerste dag van de maand een justering van 50 of 100 msec. Die dag wordt een afwijkende gesproken aankondiging gegeven.

B. *HBN Neuchatel, Zwitserland.* Uitzending vindt plaats op 2.5 en 5.0 MHz en wel gedurende de 5 min. dat MSF Rugby niet uitzendt. 10 sec. voor iedere periode wordt begonnen met driemaal de stationsletters HBN: di-di-di-di da-di-di-di da-di, waarna gedurende 5 min. seconde-pulsen van 30 msec. en minutenpulsen van 500 msec. duur. Deze pulsen worden gegeven in de vorm van 500 Hz amplitude modulatie. De uitzending van dit station wordt, evenals bij MSF, continu vergeleken met een atoomstandaard in Neuchatel.

C. *WWV Betsville, Maryland, USA.* Het radiostation WWV van het Nationaal Bureau of Standards zendt gedurende de gehele dag op 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 en 25.0 MHz. De eerste drie minuten van iedere 5 minuten worden afwisselend 600 en 440 Hz toonfrequenties gegeven. In de twee volgende minuten worden secondepulsen gegeven. De toonfrequentie wordt 10 msec. voor het begin van de secondepuls onderbroken, dan volgt de secondepuls, nl. 5 perioden van de betreffende toon, dan opnieuw 25 msec. geen modulatie, waarna hervatting van deze toon. De 59e sec. wordt niet gegeven. Van de 40e tot de 58e sec. van de laatste minuut worden tegelijk met de secondepulsen de roepletters WWV gegeven: di-da-da di-da-da di-di-di-da, verder de tijdaankondiging in Eastern Standard Time (EST), en een UT aankondiging in telegrafiecode (morse). In de daarop volgende 50-60e sec. wordt de tijdaankondiging in gesproken vorm herhaald. In de 19e en 49e minuut wordt van de 28e-38e sec. in telegrafiecode een verwachting van de ontvangstcondities over de Noord Atlantische route gegeven, geldende voor de eerste 6 uur. Voor de 45e min. tot $49^{m}28^{sec}$ na ieder uur worden de uitzendingen onderbroken voor identificatie van het station.

D. *DIZ, Nauen. continu op 4,525 MHz.*

8. Verwerking van de waarnemingen

De code waarin de waarnemingen gesteld moeten worden, is de SATEV code volgens Cospar Information Bulletin No 9, juli 1962. De symbolische vorm is als volgt.

SATEV SSSSa NNnnc bMMJJ HHmms sttll ppqqD rruuv Awxyz

De sleutel van deze code is:

SATEV = code woord.
SSSS = stationsnummer, dat door de sterrenwacht Utrecht wordt verzorgd en aan de waarnemer wordt bekend gemaakt
a = type van observatie en instrument
1 = fotografisch; theodoliet
2 = fotografisch; vaste camera of kleine telescoop
3 = fotografisch; volgende camera of kleine telescoop
4 = fotografisch; telescoop (vast, astronomisch)
5 = visueel; blote oog of veldkijker
6 = visueel; telescoop (kleine vergroting)
7 = visueel; telescoop (kort brandpunt)
8 = visueel; theodoliet
9 = visueel; astronomische kijker
0 = ander instrument of onbekend
NN = codeteken voor de kunstmaan — de laatste 2 tekens van het jaar van lancering, bijvoorbeeld 64
nn = codeteken voor de kunstmaan — volgnummer van lancering in het betreffende jaar (voor lanceringen eerder dan 1963 is een Griekse letter aangenomen als 01 = alpha, 02 = beta, enz.)
c = codeteken voor de kunstmaan — code indentificatienummer van het object of deel daarvan waarbij 1 = A, 2 = B, 3 = C enz. Als c groter wordt dan 9, maak dan c = 0. Zie ook het voorbeeld op de voorspellingsbulletins hiervoor beschreven
b = 3 (equinoxe 1950)
MM = maand
JJ = datum
HHmm = tijd, uren en minuten
ss = tijd, seconden
tt = tijd, in honderdste sec.

} wereldtijd UT

ll = uren, rechte klimming
pp = minuten, rechte klimming
qq = seconden, rechte klimming
D = teken van de declinatie, + of —
0 = plus (noorden)
1 = min (zuiden)
rr = graden, declinatie

uu = minuten, declinatie
v = tienden van minuten declinatie
A = nauwkeurigheid in tijdswaarneming
0 = onbekend
1 = 0,01 sec.
2 = 0,02 sec.
3 = 0,05 sec.
4 = 0,1 sec.
4 = 0,2 sec.
6 = 0,5 sec.
7 = 1,0 sec.
8 = 2,0 sec.
w = nauwkeurigheid in positie
0 = onbekend
1 = 0,1 boogminuut
2 = 0,2 boogminuut
3 = 0,5 boogminuut
4 = 1 boogminuut
5 = 2 boogminuten
6 = 5 boogminuten
7 = 10 boogminuten
8 = 30 boogminuten
9 = 1 graad
x = geschatte helderheid in magnitude
0 = geen schatting
1 = plus 1 of helderder
2 = +2
3 = +3
4 = +4
5 = +5
6 = +6
7 = +7
8 = +8
9 = +9 of zwakker
y = zekerheid van waarneming
0 = waarneming zeker
1 = waarneming een weinig twijfelachtig
2 = waarneming onzeker
3 = geen informatie aanwezig
z = hier altijd een x invullen

Voorbeeld:

SATEV	41085	61011	30609	
23103	72013	49050	17500	
23110	21013	08530	28050	6460×

De waarnemer op station (4108) heeft met een veldkijker (5) visueel kunstmaan (61011) waargenomen. Hij gebruikte een atlas met equinoxe 1950 (3). De waarneming werd gedaan in de 6e maand (06) op de 9e (09) om 23 uur 10 minuten en 37,20 seconden (23.10.37.20) U.T. = wereldtijd. De positie was 13 h 49 min. 05 sec. rechte klimming (13.49.05) en + 17 graden 50, 0 minuten declinatie (17500) De laatste 0 betekent dat op 1 minuut nauwkeurig geschat is. Men mag ook een × invullen).
Hij deed nog een waarneming van dezelfde kunstmaan direct daarna om 23 11 min. en 02,10 seconden waarbij de positie was: 13 h 08 min. en 53 seconden in rechte klimming en +28 graden 05 minuten declinatie.
De nauwkeurigheid in tijd geeft hij op als (6), dus 0,5 sec.
De nauwkeurigheid in positie geeft hij op als (4), dus 1 minuut.
De helderheid als (6), dus magnitude +6. De zekerheid van waarneming als (0), dus zeker. De laatste (x) heeft verder geen betekenis.
In Thieme's Sterrenfotoboek zal het fotografisch waarnemen van kunstmanen behandeld worden.

4 Het waarnemen van sterbedekkingen *(P. de Bruyn)*

Waar het om gaat

Van alle hemellichamen bevindt de maan zich het dichtst bij de aarde. Ze is betrekkelijk klein; haar middellijn is slechts 0.237 × die van de aarde. Vergelijk dit met de middellijn van Jupiter die bijna 11 × zo groot is als die van de aarde.
Maar omdat de maan zo dichtbij is, schijnt haar middellijn ongeveer even groot als die van de zon.
Behalve dat haar omvang klein is, is haar gewicht gering. Ze weegt maar: 0.01227 × zo zwaar als de aarde. Juist door de nabijheid en het geringe gewicht is de maan een wispelturig hemellichaam.
De nabijheid maakt dat een betrekkelijk kleine afwijking van de aarde af zeer duidelijk wordt gezien. Wanneer de maan door een of andere kracht zich 500 km van de plaats bevindt die ze theoretisch zou moeten innemen, is dat van veel groter gevolg voor de waarnemer op aarde

dan b.v. bij een gelijke afwijking van Jupiter, die minimaal ± 1575 × en maximaal ± 2320 × zover weg staat.
Ook de geringe massa speelt een rol. Als we die van de aarde op 1 stellen, is de massa van de maan, zoals we reeds zeiden, 0.01227, maar die van Jupiter (om bij dit voorbeeld te blijven) 318.4. Daardoor wordt de maan door betrekkelijk geringe krachten uit haar baan getrokken.
Om al deze redenen volgt de maan niet precies de wetten van Kepler: De vorm van de baan wijzigt zich, de knopenlijn vertoont een teruggang, de omloopstijden in zomer en winter zijn niet gelijk (dat kan 15 min. verschillen), de helling van de maanbaan op de ecliptica vertoont schommelingen, enz.
Nu is de maan voor de plaatsbepaling op zee een belangrijk hemellichaam. De schippers, vooral als geen andere navigatiemiddelen zoals radar en radio kunnen worden gebruikt, hebben er belang bij dat de plaats van de maan zo nauwkeurig mogelijk bekend is.
Reeds vroeg heeft men pogingen ondernomen om de plaats van de maan van tevoren te berekenen.
Zo stelde Regiomontanus (1436—1476) een 'Kalendarium' op, waarin de maanstanden werden voorspeld; naar onze begrippen was dat niet al te secuur, want de maanverduisteringen kwamen één uur later dan was voorspeld.
Hoe beter de instrumenten werden, hoe zuiverder de waarnemingen, hoe nauwkeuriger de tabellen.
Zo gaf Tobias Mayer (1723—1762) tafels uit van zon en maan waarin de grootste fout 1′.5 was. Het was een belangrijke vooruitgang, hoewel wij met deze nauwkeurigheidsgraad geen genoegen zouden nemen. Bij plaatsbepaling op zee betekent een fout van 1′ in de tabel een fout van 27 zeemijlen in het resultaat van de berekening. Nu moeten de tabellen worden gecorrigeerd door de waarnemingen, want het is een vaste wet in de sterrenkunde: "De waarneming is de grondslag van alle rekenwerk".
Hoe kan men de positie van de maan nauwkeurig bepalen?
Een van de methodes is het waarnemen van de bedekkingstijd van een ster door de maan.
Aan de hemel beweegt de maan zich — afgezien van de dagelijkse beweging — van west naar oost. En op deze tocht onderschept de maan het licht van diverse sterren. De kunst is nu, om precies te bepalen op welk tijdstip de maan de ster verduistert, of het ogenblik waarop de ster weer achter de maan vandaan te voorschijn komt.

Het eerste geschiedt bij wassende maan, het tweede bij afnemende maan, daar het verschijnsel zich dan afspeelt aan de onverlichte rand, die echter door een kijker nog zichtbaar is.
Het is begrijpelijk dat men zulke bedekkingen alleen waarnemen gaat bij sterren, waarvan de plaats nauwkeurig bekend is. De eigen beweging van de sterren is uiterst gering en bovendien zeer regelmatig.
In de catalogus die wij gebruiken, worden de sterren opgegeven met een nauwkeurigheid van 0,001 sec. in de rechte klimming en 0″,01 in de declinatie.
De eerste die deze methode gebruikte om de plaats van de maan vast te stellen, was Bullialdus: hij nam op 5 juli 1623 de bedekking van Spica, de helderste ster in de Maagd, waar. Zijn kijker had hij zó dicht bij de klok opgesteld, dat hij de tikken kon horen. Op één sec. nauwkeurig deed hij zijn waarneming, wat voor die dagen een prestatie was. Sindsdien zijn zulke waarnemingen geregeld gedaan. Wij zullen over deze historische bijzonderheden niet verder uitwijden.
Een grote vooruitgang voor het opstellen van maantafels was de rekenmethode die Bessel (1784—1846) heeft opgesteld.
In 1919 heeft Prof. E. W. Brown nieuwe tabellen opgesteld voor de maanbeweging. 'Tables of the motion of the moon'. In zijn berekening verwerkte hij 655 diverse periodieke storingen. De formule is een heel boekwerk; ze beslaat ± 150 blz.
Men zou denken dat nu toch wel overeenstemming bereikt was tussen de tabellen en de werkelijke toestand. Helaas bleven er nog afwijkingen. Die waren wel klein, maar de astronomen waren er niet tevreden over. Om de tabellen met de werkelijkheid in overeenstemming te brengen, achtte Prof. Brown het waarnemen van sterbedekkingen noodzakelijk. Hij riep alle amateurs over de gehele wereld te hulp om deze waarnemingen te verrichten en de resultaten naar zijn bureau op te zenden. Deze actie duurt nog voort en ook Nederlandse amateurs doen hieraan mee.
De Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde heeft een werkgroep 'Sterbedekkingen', die de gegevens verzamelt en opzendt naar het 'Nautical Almanac office' in Greenwich, waar tegenwoordig alle gegevens in een elektronische rekenmachine worden verwerkt.

Het waarnemen

Voor het waarnemen is het volgende nodig:

1e. *Een kijker.* De grootte van het objectief is niet het belangrijkste,

omdat het er om gaat de tijd vast te leggen. Voor het waarnemen van sterren tot de grootte 6.5 is een objectief van 60 mm reeds voldoende, als de omstandigheden niet te ongunstig zijn.
Een van de omstandigheden is het licht van de maan. Hoe kleiner de maansikkel, des te minder wordt het oog door het maanlicht verblind. Bedekkingen waarbij de maan 10° of lager boven de horizon staat, worden ook niet opgegeven.
Vele amateurs bezitten kijkers met objectieven van 100 tot 150 mm. Daarmee zijn sterren van de grootte 7.5 tot 9.5 behoorlijk waar te nemen.
De kwaliteit van het beeld is voor ons werk ook niet doorslaggevend. Zelfs al zou het sterretje in de kijker niet zuiver rond worden gezien, is het toch nog goed mogelijk om de tijd te bepalen waarop het licht verdwijnt.
Deze opmerking wil verhinderen, dat de kijkereigenaar, die weet dat er iets aan zijn beeld mankeert, met een minderwaardigheidscomplex langs de kant blijft staan.
Dit neemt niet weg, dat de spiegelslijpende amateur toch alles moet doen om zijn spiegel zo zuiver mogelijk te slijpen.

2e. *De plaats van waarneming*. Op verschillende punten op aarde zal de bedekking van een ster door de maan op verschillende tijdstippen worden waargenomen. Daarom is het noodzakelijk om de juiste lengte en breedte van de waarnemingsplaats te kennen.
In Nederland zijn door de rijksdriehoeksmeting 3723 punten vastgelegd in een coördinatenstelsel. Men dacht zich een vlak, dat de aarde snijdt met een cirkel van 100 km straal, waarvan het middelpunt loodrecht ligt onder de top van de Lieve-Vrouwetoren te Amersfoort. Door het middelpunt is de lijn N-Z aangebracht als y-as en O-W als x-as.
De genoemde plaatsen op aarde zijn op dit vlak geprojecteerd vanuit het tegenpunt (stereografische projectie). De plaats van de toren te Amersfoort is nauwkeurig bekend: de geografische lengte is: —5° 23′ 15″,500, de geografische breedte: +52° 09′ 22″,178.
Om de geografische lengte en breedte nauwkeurig uit te rekenen zijn de coördinaten nodig van deze rijksdriehoeksmeting.
Hoe komen we daaraan?

a. Het eenvoudigst is het dit te vragen aan een bevriend landmeter.

b. een andere methode om x en y van 's rijksdriehoeksmeting te vinden, is de berekening met een kaart van de topografische dienst. Deze kaarten zijn aan het bureau te Delft voor billijke prijs te koop. Achter elke kaart staan de coördinaten van de hoekpunten. De schaal is 1 : 25000, d.w.z.: 1 mm op de kaart is in werkelijkheid 25 m. Wie met een naald een klein prikje in de kaart geeft en deze opstuurt, krijgt met de gegevens zijn kaart ook weer terug.

Om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid: elke boogseconde in de geografische breedte is $\pm$ 31 meter, elke boogseconde in de geografische lengte in Nederland is ongeveer 19 meter.
Een fout van enkele meters is dus niet zo heel erg.

3e. *Het uurwerk.* Omdat het bij de waarneming gaat om 't juiste ogenblik waarop de ster verdwijnt, worden er aan het uurwerk hoge eisen gesteld. Gewone klokken kunnen niet worden gebruikt, vooral niet als er veel slagwerk in zit. Ze lopen niet regelmatig genoeg. De synchroon-klokken, die op de elektrische stroom van het lichtnet gaan, zijn ook niet geschikt. De periode van het net is nl. niet constant. Gemiddeld is het 50. Maar, wanneer in de vooravond vele lichten tegelijk aangaan en de generatoren in de centrales opeens zwaarder worden belast, gaat de klok achter lopen. Het tegengestelde geschiedt laat op de avond, als het elektriciteitsverbruik in korte tijd snel afneemt. Voor huis-tuin- of keukengebruik is zo'n klok wel geschikt omdat het er niet op aan komt of deze 10 seconden voor loopt en enkele uren later weer 20 sec. na. Voor wetenschappelijk werk is dit instrument waardeloos. De amateurs volgen daarom deze methoden:

a. Het eenvoudigste is een ouderwets goedlopend horloge met secondenwijzer. Het wordt op een schokvrije plaats gelegd en niet anders dan voor het opwinden aangeraakt. Met een goede loupe is het mogelijk om de tijd op $\frac{1}{2}$ of $\frac{1}{4}$ sec. af te lezen. Over de contrôle spreken we later.
De gang van zaken is aldus: een man aan de kijker geeft het sein, dat de ster is verdwenen, de ander leest de tijd af.
Het bezit van een stop-watch brengt al verbetering. Het is dan mogelijk om zonder helper de waarneming te doen. Ziet de waarnemer door de kijker de ster verdwijnen, dan drukt hij zijn stopwatch in.
Daarna gaat hij naar zijn uurwerk. Wanneer de secondenwijzer op de 60 staat, schakelt hij zijn stopwatch weer uit. De tijd, welke de stopwatch aanwijst wordt dan van die van het horloge afgetrokken.

b. Verschillende amateurs maken hun klok zelf. Ze rusten deze uit met een seconden-slinger, meestal van invar; dat is een staalsoort die weinig uitzet bij verwarming. Zo'n invar-stalen staaf is niet duur. De klok wordt elektrisch aangedreven, volgens het systeem 'Hipp.' Een beschrijving hiervan is te vinden in het boekje van Dr. G. v. Herk: 'De sterrenhemel zelf zien'.
De schrijver heeft zelf zo'n klok geconstrueerd, die nu ruim 10 jaar onafgebroken loopt. Dit systeem werkt heel nauwkeurig. Elke amateur kan zo'n klok gemakkelijk maken, als hij maar beschikt over een dosis geduld.

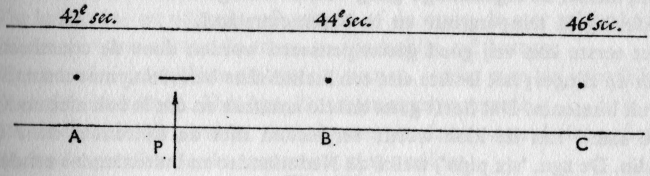


Fig. 108

Het gebruik van de stopwatch is ook hier aan te bevelen, precies op dezelfde manier als bij gebruik van een horloge.
De schrijver gebruikt nog een andere methode, als 2 sterbedekkingen binnen zeer korte tijd plaats vinden, zodat er geen tijd genoeg is om met de stopwatch naar de klok te gaan.
Aan de klok wordt een elektrisch contact gemaakt, waardoor om de 2 seconden een stroomstoot naar een telegrafeertoestel wordt gezonden. Deze geeft op een smalle papierband een punt bij elk contact. Bij de waarneming aan de kijker wordt op 't ogenblik van de bedekking op de knop gedrukt, waardoor eveneens een teken op de band komt. Later aan de schrijftafel wordt berekend wat precies de tijd is. De seinen A, B en C.... geven aan wanneer de 42e, 44e en 46e sec. begint. De afstanden AB en BC zijn 8 cm.
Stel dat de afstand AP 1,6 cm is, dan is de bedekkingstijd volgens de klok — afgezien van de tijdscorrectie — 42,4 sec. Ergens moet men optekenen in welke minuut en in welk uur.
Deze methode heeft het voordeel, dat men zonder moeite de bedekking van 2 of meer sterren vast kan leggen zonder van de kijker weg te moeten, als de tijdstippen zeer dicht bij elkaar liggen.
Kwarts-klokken worden, voor zover ons bekend, door de amateurs niet gebruikt, omdat ze nogal kostbaar zijn en veel onderhoud vergen.

De klok-correctie

Het gebruik van een horloge of een klok, hoe nauwkeurig deze ook mogen zijn, eist gedurig controle.
Elk instrument heeft een zeker verloop.
Een van de amateurs in Nederland heeft het zover gekregen, dat zijn klok nog geen minuut per jaar (!) verloopt. Meestal is het verloop veel groter. Dat is niet zo erg, wanneer het maar regelmatig is.
Wanneer de klok of het horloge in 15 uur 0,2 sec. voor of achter loopt, moet dat in 30 uur 0,4 sec. zijn en na 45 uur 0,6 sec. en op de tussenliggende tijden naar evenredigheid. Geheel gelijkmatig zal dit nooit zijn, omdat de regelmatige gang van de klok gestoord wordt door verandering in temperatuur en in barometerstand.
Het eerste kan vrij goed gecompenseerd worden door de constructie van de slinger; het laatste eist een luchtdichte behuizing met constante druk binnenin. Dat heeft geen enkele amateur en dat is ook niet nodig.
De stand van de klok wordt vergeleken met de tijdseinen door de radio. De zgn. 'six pips', welke de Nederlandse en buitenlandse zenders regelmatig geven. Op elk heel uur worden zes tikken gegeven, waarbij de laatste tik het begin is van het nieuwe uur.
Het luisteren naar de 5 anderen, maakt dat men door de 6-de niet wordt verrast, en daardoor te laat zou afdrukken.
De amateurs zetten hun klok bijna nooit gelijk. Ze noteren alleen het verschil tussen de werkelijke tijd en die welke de klok aanwijst. Dit verschil wordt nu opgeteld of afgetrokken van de tijd die de klok aanwijst bij bedekking.
Er zijn buitenlandse zenders, die elk uur de 'six pips' uitzenden, zodat men voor en na de waarneming de klok kan controleren.
De bandrecorder heeft nog een nieuwe methode aan de hand gedaan. Er zijn radiozenders, die elke seconde een tik uitzenden.*) Deze seinen worden vastgelegd op de band.
Op dezelfde band komt 't teken, waarop de bedekking begint. Na afloop wordt de band teruggedraaid en kan men bepalen hoe laat precies de bedekking was. Door herhaling kan men dit nog controleren.
Bovendien is het mogelijk om datgene wat op de band staat, zichtbaar te maken door deze te dopen in een oplossing van fijn ferroxcube in tetra. De secondetikken liggen ± 10 cm van elkaar, wat maakt dat interpolatie goed mogelijk is: elke mm betekent dan 0.01 sec.

---

*) *Zie blz. 190 e.v.*

Nu is het onmogelijk om elke avond als de maan zichtbaar is, met de kijker te wachten of er misschien een sterbedekking zal plaats hebben. Voor de echte amateur zijn de uren ook kostbaar. Daarom worden er in het orgaan van de Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde, 'Hemel en Dampkring' (maandblad) en 'De Meteoor' tabellen gepubliceerd, waarop te vinden is wanneer een ster wordt bedekt.
Bij deze tabellen gaat men er van uit, dat de opgaven van de maanstanden in de Nautical Almanac juist zijn.
De tijden van bedekkingen worden vooruit berekend met een nauwkeurigheid van 0.1 minuut.
De tabel ziet er als volgt uit: (zie blz. 202)
De kolom in- en uittrede wil zeggen of de maan de ster zal bedekken of de ster van achter de maan te voorschijn zal komen.
Het tweede is moeilijker om waar te nemen, omdat men het verschijnsel niet ziet aankomen. Het kan de waarnemer verrassen.
Bij de intrede niet, omdat men de ster tot de maanrand ziet naderen.
In beide gevallen is de maanrand niet verlicht.
De bedekkingstijd wordt opgegeven in U.T. = Universal Time of ook wel Greenwich Mean Time.
Om onze Nederlandse tijd te vinden moet hierbij één uur worden opgeteld.
De factoren a en b geven aan: het verschil in tijd uitgedrukt in minuten, per graad voor het verschil in lengte en breedte.
De tabel is nl. alleen zuiver voor een plaats in Nederland waarvan de geografische lengte is —5°07′48″ en de geografische breedte is 52° 05′12″.
Er zijn waarnemers, die daar ver vandaan wonen.

Zij gebruiken de volgende formule:

$$t_w = t_o + a\triangle\lambda + b\triangle\varphi$$

waarin:
t_w = de tijd voor de waarnemer buiten Utrecht.
t_o = de aangegeven tijd in de tabel
a en b zijn voor elke bedekking in de tabel aangegeven.
$\triangle\lambda$ = het verschil in geografische lengte, uitgedrukt in graden
$\triangle\varphi$ = het verschil in geografische breedte, ook uitgedrukt in graden
Het teken van $\triangle\varphi$ is positief voor plaatsen ten noorden, en negatief voor plaatsen, die ten zuiden liggen.
$\triangle\lambda$ is positief voor plaatsing ten westen van Utrecht en negatief voor plaatsen ten oosten.

Datum en Lunatie	STER						ouderdom v.d. maan	in- of uittrede	bedekkingstijd U.T.		a	b	positiehoek
1965 Lunatie 531	No. N.Z.C.	m	α		δ		d		h	min.	min/0	min/0	0
			h	m	0	1							
dec 02	3536	4.7	00	09.2	—06	12.5	09.6	in	18	46.4	—2.1	—0.1	096
10	1117	5.1	07	21.0	+25	10.6	17.7	uit	21	28.9	—0.3	+1.9	247
11	1170	3.7	07	42.3	+24	33.3	18.1	in		24.7	+0.1	—2.5	144
14	1544	5.7	10	30.3	+14	19.0	20.9	uit	00	08.9	—0.3	+4.0	230
Lunatie 532													
dec 30	0066	6.8	00	29.9	—01	59.3	08.0	in	20	33.0	—0.3	+0.3	040
31	0192	5.3	01	16.0	+03	25.8	09.0	in	21	21.3	—1.1	—1.6	092

In de 1e kolom de datum en de lunatie. Een lunatie is een synodische omloop van de maan (van nieuwe maan tot de volgende nieuwe maan). De telling begon, toen men op grote schaal deze waarnemingen ging doen.
Dan volgen de gegevens van de ster. Eerst het nummer van de New Zodiacal Catalog, welke van 3539 sterren in de buurt van de ecliptica de gegevens vermeldt.
De grootte van de ster is een aanwijzing of de kijker groot genoeg is om de ster waar te nemen.
α en δ zijn rechte klimming en declinatie van de ster.
De ouderdom van de maan is belangrijk, om te weten welk deel van de maan door de zon wordt verlicht.

De positiehoek geeft de plaats aan waar de ster verdwijnt of weer te voorschijn komt.
Vooral bij uittrede is het belangrijk om te weten waar men de ster kan verwachten, zie fig. 109.
Bij punt A zal de ster verdwijnen en bij punt B zal deze weer te voorschijn komen.

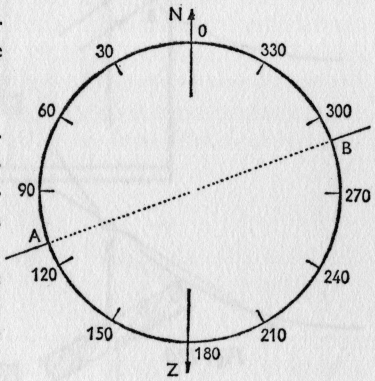


Fig. 109

In kijkers zonder omkeerinrichting moet men erop letten, dat men het beeld ondersteboven ziet en links-rechts omgekeerd.
Na de waarneming worden de gevonden tijden ingevuld op een formulier, wat door de werkgroep wordt verstrekt.
Op dit formulier worden naam, plaats, coördinaten, kijkersoort, uurwerk, en wijze waarop 't tijdstip wordt bepaald, ingevuld.
Voor elke ster, waarvan het nummer van de N.Z.C. wordt opgegeven, vult men de gevonden tijd in.
Deze formulieren zijn in de Nederlandse en Engelse taal gesteld, omdat ze worden doorgezonden naar het Nautical Almanac Office in Greenwich.

Bij het verwerken van de gegevens in Greenwich doen zich nog enige moeilijkheden voor. Bij het vaststellen van de tijd heeft men lange tijd aangenomen, dat de draaiing van de aarde een eenparige beweging was. Dit bleek niet juist.
Er treden in de draaiing van de aarde, dus ook in onze tijdmeting onregelmatigheden op.
Hoe fijner de meetwerktuigen en hoe meer bedekkingen worden waargenomen, des te beter zijn deze afwijkingen te bepalen.
Daarbij zijn er nog factoren, waarmee men rekening moet houden.
De maan is geen gladde bol. Op de maan bevinden zich — evenals op de aarde — bergen en dalen.
De maanrand is daardoor niet gaaf.
Het is daarom van belang dat de positiehoek bekend is, waarover wij al schreven.

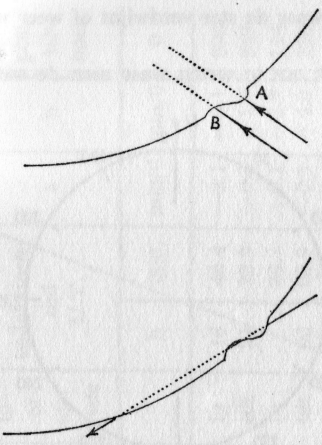


Fig. 110

In fig. 110 is een stukje van de maanrand getekend.
Wordt de sterbedekking bij A waargenomen (de tekening vertoont het beeld in een omkerende kijker), dan wordt de bedekking iets te vroeg gezien. Gebeurt dit bij een dal, bij B, dan te laat.
Wanneer de lijn tussen de punten van bedekking en weer tevoorschijn komen een raaklijn is aan de maanrand, kunnen deze verschillen wel eens te groot worden.
Daarom worden zulke bedekkingen in de regel niet opgegeven; de waarneming heeft te weinig waarde voor de correctie.

Concurrentie

De sterrenkundigen hebben naar een andere methode gezocht om de stand van de maan vast te leggen.
Een methode die hen zou verlossen van het 'berg en dalprobleem'.
Een van die methoden is de camera van Markovitch.
Deze astronoom construeerde een camera welke achter de kijkerbuis werd bevestigd.
De kijker was opgesteld op een parallactische voet en volgde door middel van een uurwerk de baan der sterren, zodra deze op de fotografische plaat een puntvormig beeld gaven.
Midden op de plaat kwam het beeld van de maan.
Om de sterrenbeelden op de plaat te krijgen moet de plaat betrekkelijk lang worden belicht, b.v. 20 seconden. Het maanbeeld zou dan overbelicht worden en de opname waardeloos. Bovendien zou de maan in die 20 sec. bewogen zijn. De maan verschuift in die tijd $\pm$ 11″.
Om deze bezwaren op te heffen, bracht Markovich tussen de plaat en de maanstralen een filter aan, dat zo donker was, dat er geen overbelichting ontstond.
Bovendien hield hij door het vrij dikke filter te draaien het maanbeeld op zijn plaats.

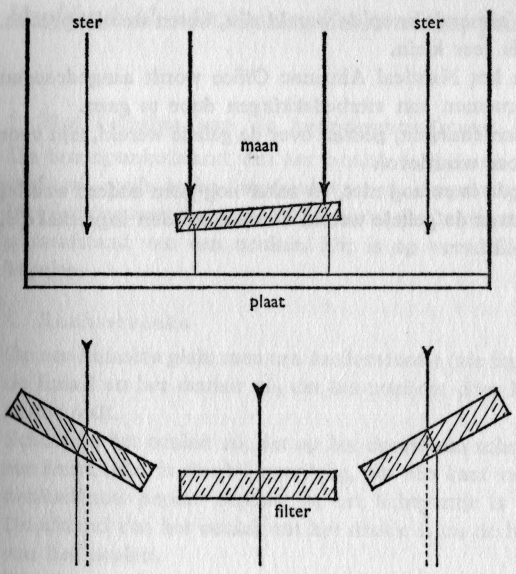


Fig. 111

Fig. 111 laat zien hoe hij dit deed. Na ontwikkeling kon men nauwkeurig de plaats van de maan tussen de sterren bepalen.
Deze methode werd gebruikt op het ogenblik dat de maan vol was, dus juist als de waarnemer van sterbedekkingen niet in de gelegenheid is sterbedekkingen goed waar te nemen.
Begrijpelijk eist deze methode kostbare instrumenten. De opstelling en het volgmechaniek moeten zeer zuiver zijn en de draaiing van het filter moet zeer precies worden berekend.
Voor de amateurs een te moeilijke en te kostbare methode.
Is er veel van deze concurrentie te duchten?
In 1 tijdseconde beweegt de maan gemiddeld 0.55″.
Bedekkingen, waargenomen met een nauwkeurigheid van 1/5 sec. leggen de plaats van de maan vast met een nauwkeurigheid van ± 0.1″.
Stel dat de camera van Markovitch bevestigd is aan een kijker, die een brandpuntsafstand heeft van 5 meter. Dat is dus geen kleintje. Op de plaat zou 0.1″ overeenkomen met 0.0024 mm. De foto maken is al moeilijk, maar om daarna zulke uiterst secure metingen te doen — nauwkeurig op ± 1/400 mm — is ook geen kleinigheid.

Hoeveel van deze camera's er op de wereld zijn, weten we niet precies. Maar hun getal is zeer klein.
Van de kant van het Nautical Almanac Office wordt aangedrongen om met het waarnemen van sterbedekkingen door te gaan.
De duizenden waarnemingen, gedaan over de gehele wereld, zijn voor de wetenschap zeer waardevol.
Een betere methode is er nog niet, en zeker nog geen andere waarbij zoveel amateurs over de gehele wereld kunnen worden ingeschakeld.

1 Het bepalen van de brandpuntsafstand van oculairen

De brandpuntsafstand van het oculair is (bij een bepaald objectief) zoals we reeds zagen bepalend voor de vergroting van de kijker. Het ligt dus voor de hand, dat we bijzonder belang stel'len in de brandpuntsafstand van een oculair. Dit is op verschillende manieren te bepalen.

1. Rechtstreeks

Op een liniaaltje plakt men een lucifersdoosje (zie fig. 112). Men houdt de liniaal en het oculair zó, dat het zonlicht door het oculair op het doosje valt.

Schuif nu het oculair zó, dat op het doosje een scherp beeldje van de zon komt. (Het is daarbij voordelig, dat één kant van het doosje met donkerblauw papier beplakt is; het lichtpuntje is dan niet zo fel). De afstand van het oculair tot het doosje is nu de brandpuntsafstand van het oculair.

Dit gaat prachtig op voor een enkelvoudige lens.

Maar.... bij samengestelde oculairen moeten we uitkijken. Want we weten niet, waar de hoofdvlakken van het oculair liggen, zodat we niet weten tot welk punt van het oculair we moeten meten.

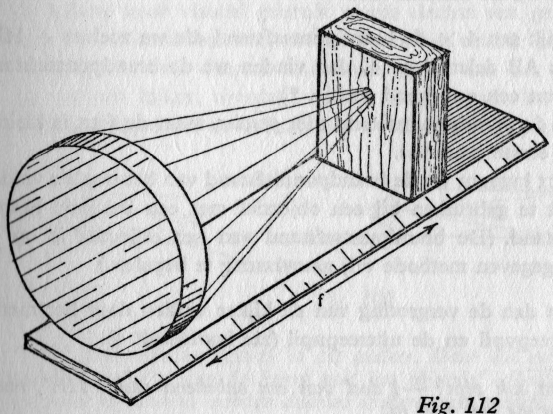


Fig. 112

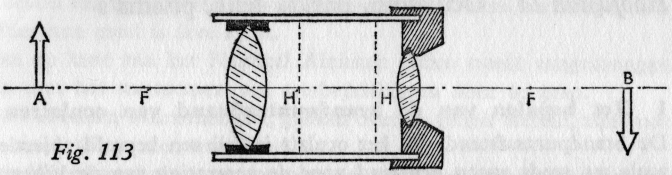


Fig. 113

2. Nauwkeurigere rechtstreekse meting

In het midden van de figuur is een twee-lenzig oculair getekend. H en H′ zijn de hoofdpunten en afstand en ligging hiervan zijn ons niet bekend.
F en F′ zijn de brandpunten en de brandpuntsafstand = F′H′ = FH. Nemen we nu nog de punten A en B aan, zo, dat AF′ = F′H′ en BF = FH, dan zal een voorwerp in A door het oculair in B *even groot*, maar *omgekeerd* worden afgebeeld.

We kunnen deze situatie als volgt verkrijgen: (fig. 114)
1. is een stukje van een plastic liniaal met centimeterverdeling. We verlichten dit met een zakbatterij.
2. is een blokje waarop het oculair ligt.
3. is een matglas waarop we ook een centimeterverdeling hebben aangebracht.

We verschuiven 1 en 3 nu net zo lang tot de centimeterverdeling van 3 samenvalt *met het beeld* van de centimeterverdeling 1.
Dan meten we de afstand AB.

Deze is gelijk aan 4 × de brandpuntsafstand die we zoeken + HH′
Als we dus AB delen door 4, dan vinden we de brandpuntsafstand + ¼ deel van een onbekend stukje. *)
We vinden de brandpuntsafstand niet *precies*, maar de fout is kleiner dan bij de eerste methode.

3. Indirect kunnen we de brandpuntsafstand van het oculair vinden door het te gebruiken bij een objectief met een bekènde brandpuntsafstand. (De brandpuntsafstand van een objectief is op de onder 1 gegeven methode vrij nauwkeurig te bepalen.)

We kunnen dan de vergroting van de kijker vinden door het meten van de intreepupil en de uittreepupil (zie hoofdstuk 4).

*) *Het kan ook zijn: —¼ deel van een onbekend stukje HH′, maar daarop gaan we hier niet in.*

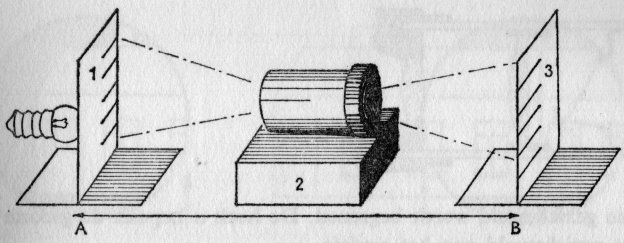


Fig. 114

En uit de vergroting en de bekende brandpuntsafstand van het objectief kunnen we de brandpuntsafstand van het oculair berekenen. Als voorbeeld het volgende:
We hebben een objectiefje met een diameter van 24 mm en een brandpuntsafstand van 15 cm. Gebruikt met het oculair waarvan de brandpuntsafstand niet bekend is, meten we een uittreepupil van 4 mm.
De vergroting is dan $24/4 = 6 \times$.
De vergroting is ook $V = \frac{f_{ob}}{f_{oc}}$ dus $6 = \frac{15}{f_{oc}}$ waaruit volgt: $f_{oc} = \frac{15}{6}$ cm $= 2\frac{1}{2}$ cm.

2 Het gezichtsveld van een oculair

Bij kijkers voor visueel gebruik wordt slechts een gedeelte van het door het objectief ontworpen beeld met het oculair bekeken.
Het objectief stelt daarom zelden een grens aan het gezichtsveld.*)
Als we een kijker, overdag, op een helder gedeelte van de hemel richten, krijgen we de indruk, dat we door een pijp kijken.

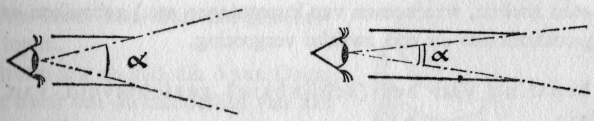


Fig. 105

*) *Bij fotografische kijkers is dit anders. Daar wil men een zo groot mogelijk gedeelte van de hemel met het objectief afbeelden. Aan fotografische objectieven worden daarom andere eisen gesteld.*

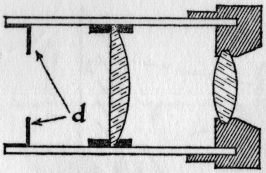


Fig. 116

Ons gezichtsveld wordt begrensd. De hoek α bepaalt de grootte van het gezichtsveld van het oculair.
Bij het gebruik van een groothoek-oculair zien we een veel grotere heldere cirkel. Het is alsof we door een kortere buis naar de hemel kijken.
Dit gezichtsveld van het oculair noemt men het *schijnbare gezichtsveld.*
Men streeft ernaar om oculairen te construeren met een zo groot mogelijk gezichtsveld.
Een enkelvoudige lens heeft een schijnbaar gezichtsveld van 10 °à 15°.
De normale samengestelde astronomische oculairen hebben een gezichtsveld van 25° à 40°.
Groothoek-oculairen hebben een gezichtsveld van 60° tot 70°.
Meestal wordt de rand van het gezichtsveld nog afgeschermd door het zgn. oculair-diafragma, om de onvolmaaktheden van het beeld aan de rand af te schermen. Bij verschillende oculair-typen wordt altijd het *bruikbare gezichtsveld* opgegeven, nl. dat wat zonder storende fouten op ons netvlies afgebeeld wordt.
Het *ware gezichtsveld* van een kijker hangt af van het (schijnbare) gezichtsveld van het oculair en de vergroting.
Een oculair met een (schijnbaar) gezichtsveld van 25° zal, bij een vergroting van 50 ×, een *waar* gezichtsveld opleveren van $25/50 = \frac{1}{2}°$.
Door deze kijker zien we dus juist nog de hele maan (de middellijn van de maan zien wij onder een hoek van $\frac{1}{2}°$).
Bij waarnemingen, waarbij een groot gezichtsveld van belang is (kometen zoeken, waarnemen van kunstmanen etc.) gebruiken we dus een groothoeklens *en* een zwakke vergroting.

De bepaling van het (schijnbare) gezichtsveld van een oculair.

Hiervoor bepalen we het ware gezichtsveld van de kijker waarin we het oculair gebruiken en vermenigvuldigen dit met de vergroting.
Het bepalen van het ware gezichtsveld kan op verschillende manieren gebeuren, waarvan wij er twee behandelen.

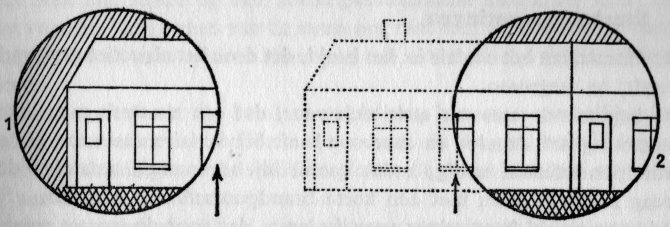


Fig. 117

1. *a. Overdag.* Richt de kijker op een gebouw.
Zorg dat een duidelijk zichtbaar detail rechts op de grens van het gezichtsveld te zien is. Draai nu de kijker zo, dat dit detail aan de linkerrand van het gezichtsveld staat.
Meet nu de hoek waarover de kijker gedraaid is. Dit is het ware gezichtsveld van de kijker.
Als de kijker niet gemonteerd is, gaat dit het eenvoudigst door de kijker op een tafel te leggen op een blad papier en in beide standen een lijn langs de kijker te trekken. De hoek die de beide lijnen vormen (eventueel na verlenging) is de hoek die we zoeken.
b. 's Nachts kunnen we het ware gezichtsveld *schatten*, door de maan aan de rand van het gezichtsveld te zetten.
De middellijn van de maan is $\frac{1}{2}°$. We kunnen nu de grootte van het gezichtsveld schatten. In de figuur is dit iets meer dan 1 graad.
2. Met behulp van een ster en een horloge kunnen we het gezichtsveld ook *zeer nauwkeurig be*palen.
We kiezen een ster die op de hemelequator ligt, b.v. de ster δ van Orion (zie fig., blz. 221). Deze ster legt elke minuut $\frac{1}{4}°$ of 15′ aan de hemel af.
We stellen de kijker zo in, dat δ van Orion op de rand van het gezichtsveld staat en laten hem door het gezichtsveld lopen.
We meten nu de tijd die δ van Orion nodig heeft om de middellijn van het gezichtsveld te doorlopen. Als deze tijd 2 min. en 15 sec. is, dan is de middellijn van het gezichtsveld:

$$2\frac{15}{60} \times 15' = 33\frac{3'}{4} = 0° 33' 45''.$$

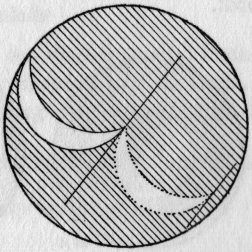


Fig. 118

3 Sterke vergrotingen

De functie van het oculair is: het beeld, dat door het objectief gevormd wordt, te vergroten.

De beginnende amateur stelt zich voor, dat een zo sterk mogelijke vergroting het ideaal is en daarvoor heeft hij oculairen met een korte brandpuntsafstand nodig, zodat vooral bij beginnende amateurs de vraag naar oculairen met een korte brandpuntsafstand groot is.

De ervaring zal hem echter spoedig leren, dat voor de meeste waarnemingen een sterke vergroting helemaal niet wenselijk is. De nadelen van een sterke vergroting zijn in hoofdstuk 4 opgesomd. We gaan daar nu nader op in.

Eerstens stelt de middellijn van het kijker-objectief een grens aan de vergroting.

In het algemeen heeft het geen zin een sterkere vergroting te nemen dan het aantal millimeters van de middellijn van het objectief.

Heeft men een objectief met een middellijn van 60 mm, dan nemen we als maximale vergroting 60 ×. Het is zelfs zo, dat bij de helft van deze maximale vergroting — dus bij 30 × — geen nieuwe details in het beeld waargenomen worden; alles wordt alleen wat verder uit elkaar gezien en .... dat heeft het nadeel, dat het gezichtsveld kleiner wordt.

En dat is bijzonder vervelend voor het opzoeken van hemellichamen, vooral als we daarbij een sterrenkaart moeten gebruiken.

De middellijn van het (ware) gezichtsveld is omgekeerd evenredig met de vergroting.

Is bij een vergroting van b.v. 40 × het gezichtsveld 1°, dan is bij een vergroting van 80 × het gezichtsveld ½° (30′) en bij een vergroting van 160 × slechts 15′.

Figuur 119 geeft aan hoe dan in het gezichtsveld de maan gezien wordt.

Fig. 119

Als men zijn kijker op een goede parallactische montering heeft, is dat voor het waarnemen van de maan nog niet eens zo'n groot bezwaar, vooral niet als men op deze kijker nog een automatische volginrichting heeft.
Maar als men met de hand moet volgen, kan men werkelijk niet rustig waarnemen, omdat de maan zo snel uit het gezichtsveld loopt. Door de draaiing van de aarde verplaatst de maan zich in 4 minuten 1° aan de hemel.
In ons eerste voorbeeld zal, als we de maanterminator in het centrum van het veld ingesteld hebben, deze dus na 2 minuten aan de rand van het gezichtsveld verdwijnen en we hebben zeker een volle minuut rustig kunnen waarnemen zonder bij te stellen. Bij vergrotingen van 80× en 160× worden deze tijden resp. 60 sec. en 30 sec.
Dit laatste is beslist te kort voor aandachtige detailwaarneming. We krijgen de indruk, dat de maan haastig uit het gezichtsveld wegloopt. Zouden we de vergroting nog hoger opvoeren, dan is voor het waarnemen een automatische volg-inrichting een absolute eis.

Frank schrijft dan ook in zijn boekje over de telescoop:

"Maar het is helemaal niet nodig, dat men zich al deze ongemakken op de hals haalt, want het is zo goed als zeker, dat een goed ingesteld oculair, dat maar half zo sterk is (twee maal zo grote brandpuntsafstand) alles toont, wat ook de sterke vergroting zou moeten laten zien. En in vele gevallen zelfs beter:
het beeld is vier maal zo helder als we een planeet of een nevel waarnemen, en het is contrastrijker.
Het beeld loopt ook maar half zo snel uit het gezichtsveld.
Bovendien is het waarschijnlijk, dat de rand van het gezichtsveld van het zwakkere oculair ook beter gecorrigeerd is dan van het sterke".

Frank's book of the telescope, page *70*.

4 De afbeeldings-fouten van het oculair

De belangrijkste afbeeldingsfouten die bij een oculair storend kunnen optreden zijn de sferische aberratie en de chromatische aberratie. *)
Verder treedt een kussenvormige vertekening op (een vierkant zien we als en kromming van het gezichtsveld (als het midden scherp is ingesteld, zijn de randen onscherp en omgekeerd).

*) *Zie hoofdstuk 14*

De afbeeldingsfouten zijn over het algemeen aan de rand van het gezichtsveld groter dan in het centrum.
Bij gebruik van een enkele lens als oculair zullen al deze afbeeldingsfouten optreden.
Door de oculairen uit meerdere lenzen samen te stellen kan men deze fouten geheel of gedeeltelijk opheffen en tevens het bruikbare gezichtsveld vergroten.
De afbeeldingsfouten van een oculair komen sterker naar voren naarmate de lichtstralen die erdoor vallen een grotere hoek met de (optische) kijkeras maken. Dit houdt in, dat de fouten die het oculair vertoont *ook afhankelijk zijn van het objectief van de kijker.*
Is de openingsverhouding van een kijker klein, b.v. 1/15, zoals bij vele astronomische lenzenkijkers*) dan maken de invallende lichtstralen slechts een kleine hoek met de optische as, en de door het oculair veroorzaakte beeldfouten zullen gering zijn. (figuur 120*a*).
Is de openingsverhouding daarentegen groot, b.v. 1/8, zoals bij de meeste Newton-telescopen, dan zullen verschillende afbeeldingsfouten die *hetzelfde oculair* vertoont 4× zo groot zijn. (figuur 120*b*).
Een oculair, dat uitstekend voldoet in een normale lenzenkijker, kan dus een bijzonder slecht resultaat opleveren als we het voor een Newton-kijker gebruiken.
Daarvoor is nog een tweede reden:
Een normale lenzenkijker met een achromatisch objectief vertoont nog een rest aan kleurfouten (secundair spectrum), maar een spiegelkijker vertoont geen enkele kleurfout.
Een oculair voor een spiegelkijker moet dus volkomen vrij van kleurfouten zijn, anders wordt een van de belangrijkste voordelen van een spiegelkijker prijsgegeven.
De afbeeldingsfouten van een oculair zijn verder nog afhankelijk van de brandpuntsafstand van een oculair.
Het is een veel verbreide misvatting, dat oculairen met een korte brandpuntsafstand beter gecorrigeerd moeten zijn dan die met een lange. Juist het omgekeerde is waar.
Een oculair-constructie, voldoende gecorrigeerd voor korte brandpuntsafstanden (dus voor sterke vergrotingen), vertoont ontoelaatbare afbeeldingsfouten als dezelfde constructie voor langere brandpuntsafstanden gebruikt wordt.

---

*) *Bij de Kutter-telescoop met zijn kleine openingsverhouding kan men zelfs met succes een enkelvoudige lens gebruiken.*

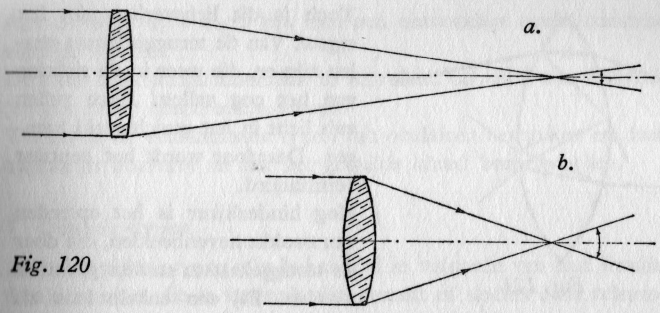


Fig. 120

Oculairen met lange brandpuntsafstanden zijn dan ook over het algemeen duurder.*)

Voor zeer kleine brandpuntsafstanden - onder 6 mm - (dus voor zeer sterke vergrotingen) verdient zelfs de enkele platbolle lens de voorkeur boven de samengestelde lens: de beeldfouten zijn bij deze brandpuntsafstand onmerkbaar klein en het beeld is zeer helder, omdat er maar twee glasoppervlakken zijn waar lichtverlies kan optreden door terugkaatsing.

Het beeld is ook contrastrijk, hetgeen bij planeten-waarnemingen vooral van groot belang is. Het kleine gezichtsveld van de enkele lens (hoogstens 15°) is natuurlijk een nadeel.

Maar.... bij sterke vergrotingen geeft men al bij voorbaat een groot gezichtsveld prijs.

Herschell gebruikte voor zijn waarnemingen dikwijls een enkelvoudige lens als oculair en propageerde het gebruik ervan voor alle waarnemingen waarbij een klein gezichtsveld niet bezwaarlijk is.

5 Inwendige reflecties

Het licht, dat op een grensvlak glas/lucht komt, wordt gedeeltelijk gebroken, en gedeeltelijk teruggekaatst. Bij elk grensvlak gaat zodoende 5% van het invallende licht verloren.

Hoe meer lenzen een oculair bevat, des te meer licht zal op deze wijze verloren gaan.**)

---

*) *Het komt echter voor, dat eenzelfde firma oculairen met lange brandpuntsafstanden een eenvoudigere constructie geeft dan die van hun oculairen met korte brandpuntsafstanden.*

**) *Er gaat bovendien nog per 10 cm doorlopen glas ± 15% licht verloren, dat door het glas geabsorbeerd wordt.*

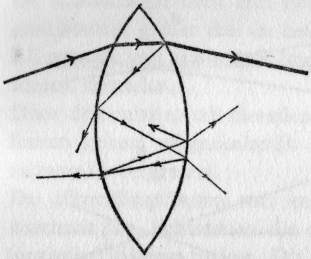


Fig. 121

Toch is dit lichtverlies niet het ergste. Van de teruggekaatste stralen zijn er, die weer in de richting van het oog vallen. Deze zullen vals licht in het gezichtsveld brengen. Daardoor wordt het contrast verminderd.

Nog hinderlijker is het optreden van zwakke nevenbeelden, die door de teruggekaatste stralen gevormd worden. Bij een enkele lens als oculair hebben we praktisch geen last van de inwendige reflecties. Deze geeft daarom een briljant en helder beeld. Op verschillende manieren probeert men de inwendige reflecties te verminderen:

a. door het aan elkaar kitten van verschillende lenzen. Op de plaats waar twee lenzen aan elkaar gekit zijn, ontstaat geen reflectie.

b. Door op de lenzen een dun laagje van een of andere stof aan te brengen*), waardoor de reflectie voor een groot deel opgeheven wordt. Deze zgn. *gecoate* lenzen (men herkent ze aan hun blauwe of goudkleurige glans) en prisma's worden in vrijwel alle moderne optische instrumenten toegepast.

Het lichtverlies in een niet-gecoate prismakijker is ca. 35%.
Met gecoate optiek is dit slechts 10%!
Gecoate optiek geeft contrastrijkere beelden en bij astronomische waarnemingen een donkerder hemelachtergrond.

6 Het ideale oculair

Een ideaal oculair zou aan de volgende eisen moeten voldoen:

1. Het mag geen merkbare afbeeldingsfouten vertonen.
2. Het gezichtsveld moet vlak zijn, zodat bij instelling op het centrum ook de rand scherp is.
3. Het (schijnbare) gezichtsveld moet zo groot mogelijk zijn.
4. Een donker gezichtsveld, zonder nevenbeelden.
5. Heldere, contrastrijke beelden.
6. Een ruime afstand van het oculair tot de uittreepupil, zodat ook brillendragers hun pupil op de plaats van de uittreepupil kunnen brengen.

*) *Dit coaten gebeurt in een hoogvacuum evenals het veraluminiseren. Gecoate optiek is dan ook duurder dan niet-gecoate.*

Aan de eisen 1, 4 en 5 kan met een eenvoudige oculairconstructie voldaan worden.
De eisen 2 en 6 zijn moeilijker te vervullen, terwijl 3 zeer bijzondere (en ook dure) constructies vraagt.
We zullen de verschillende typen van oculairen bespreken en daarbij nagaan in hoeverre ze aan het gestelde ideaal beantwoorden.

7 Oculair-typen

De belangrijkste typen zijn behandeld in volgorde van hun kwaliteit. Oculairvormen die in onbruik zijn geraakt of slechts door telescoopfabrikanten in hun eigen telescopen worden gebruikt, zijn niet vermeld.

1. *De enkelvoudige platbolle lens*, ook wel *Kepler-oculair* genoemd.
Gebruikt bij kijkers met een kleine openingsverhouding (1/8 en kleiner) is het bruikbare gezichtsveld van een platbolle lens ongeveer 10° (bolle kant naar het objectief gekeerd). Van vals licht en nevenbeelden hebben we geen last, zodat het beeld zeer contrastrijk is. De vrije oogafstand is groot, nl. ongeveer gelijk aan de brandpuntsafstand.
Voor een eenvoudig brillenglas-kijkertje is een enkelvoudige lens als oculair aan te bevelen. Maar ook bij lenzenkijkers met een achromatisch objectief kunnen we voor oculairen met brandpuntsafstand kleiner dan 1 cm een Kepler-oculair goed gebruiken.
Kepler-oculairen zijn niet in de handel, maar het is een van de weinige oculairen, die we zelf kunnen maken (zie hoofdstuk 13).
Voor kijkers met openingsverhouding groter dan 1/12 (dus b.v. voor Newton-telescopen) is het Kepler-oculair onbruikbaar.

2. *Het Huygens-oculair* bestaat uit 2 platbolle lenzen, de platte kanten naar het oog gericht. Het is het eenvoudigste 2-lenzige oculair.
De voorste lens wordt de veldlens genoemd, de achterste de ooglens. De veldlens heeft een 3 maal zo grote brandpuntsafstand als de ooglens en de afstand der beide lenzen is gelijk aan 2× de brandpuntsafstand van de ooglens.

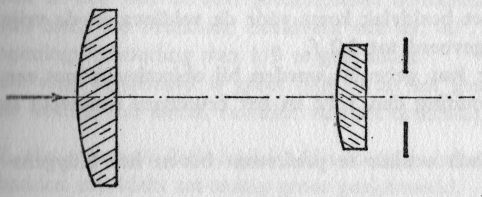


Fig. 122

Bij objectieven met een openingsverhouding kleiner dan 1/12 is de sferische aberratie en de chromatische aberratie over een gezichtsveld van 25° nog niet storend en zelfs tot 35° is het nog redelijk. De oogafstand is ongeveer 0,3 van de brandpuntsafstand van het oculair (0,3 *f*).

Het Huygens-oculair is het enigste waarbij het beeld wordt gevormd *tussen* de veldlens en de ooglens, zodat een Huygens-oculair niet als loupe te gebruiken is. Ook kunnen er geen kruisdraden aangebracht worden. (Opm.: in alle figuurtjes komt het licht van links. De plaats van het gezichtsveld-diafragma vóór de lens en van de uittreepupil er achter is met streepjes aangegeven).

Het Mittenzwey-oculair is in principe een Huygens-oculair. Door verandering van de lenskrommingen heeft men de eigenschappen nog iets kunnen verbeteren.

De meest gebruikte microscoop-oculairen zijn Huygens-oculairen. Men kan deze dus niet voor een Newton-telescoop gebruiken.

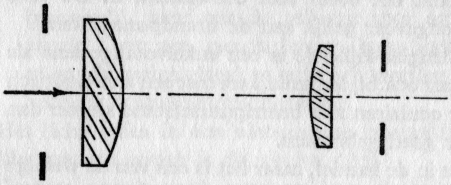


Fig. 123

3. *Het Ramsden-oculair.*

Het bestaat ook uit twee platbolle lenzen; de bolle kanten staan naar elkaar toegekeerd. De beste correctie verkrijgt men door lenzen met gelijke brandpuntsafstand te nemen en de afstand der lenzen gelijk aan de brandpuntsafstand te maken. Dit heeft echter nadelen:

Door de ooglens zien we nu elk stofje op de veldlens en de vrije oogafstand is 0. Dus onze oogpupil zou in de ooglens moeten komen.

Door beide lenzen iets dichter bij elkaar te plaatsen wordt de correctie iets slechter, maar het beeldvlak komt vóór de veldlens en de vrije oogafstand wordt opgevoerd tot 0,2 *f*.

Het Ramsden-oculair kan gebruikt worden bij objectieven met een grotere openingsverhouding dan 1/12 en het bruikbare beeldveld is ca. 35°.

Het is als astronomisch oculair te prefereren boven het Huygens-oculair.

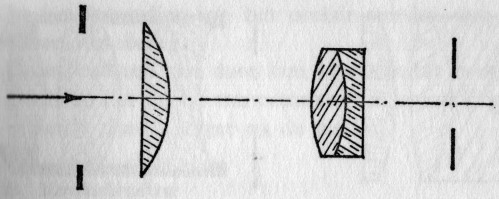


Fig. 124

4. *Het Kellner-oculair:* is een verbetering van het Ramsden-oculair. De ooglens is achromatisch (dit oculair is 3-lenzig).
Dit is zonder meer een goed astronomisch oculair, te gebruiken bij grotere openingsverhoudingen.
Het is ook geschikt voor grotere brandpuntsafstanden (3 à 6 cm).
Het bruikbare veld is ca. 40° en de vrije oogafstand is 0,5 *f*.
Een nadeel is het sterke optreden van vals licht en nevenbeelden.

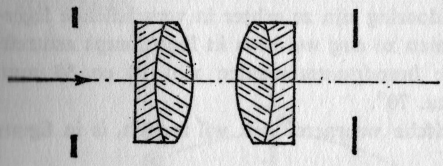


Fig. 125

5. *Achromatisch-symmetrisch oculair (4-lenzig).*
Dit bestaat uit twee paar identieke achromaten. Het is uitstekend gecorrigeerd en heeft een bruikbaar beeldveld van ca. 35° tot 50°.
Een van de fijnste achr. symm. oculairen is het *Plössl-oculair*, dat men graag met grote brandpuntsafstanden vervaardigt en dat geschikt is voor gebruik bij grote openingsverhoudingen.

6. *Het Orthoscopische oculair (4-lenzig).*
De veldlens is een triplet en de ooglens enkelvoudig. (figuur 126).
Het is een van de best gecorrigeerde oculairen (vandaar de naam).
Het heeft een bruikbaar beeldveld van ca. 40°. Het is zelfs bij een openingsverhouding van 1/5 te gebruiken.
De vrije oogafstand is groot (0,8 *f*) en het geeft weinig vals licht.
Er bestaat een aantal variaties van het orthoscopische oculair.

7. *Het groothoek Erfle-oculair.* Alle hiervóór behandelde oculair-typen hadden een klein tot matig groot gezichtsveld.

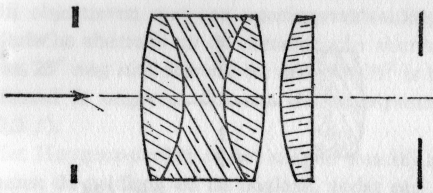


Fig. 126

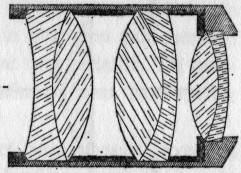


Fig. 127

In prismakijkers worden *groothoek*-oculairs gebruikt van verschillende constructie.
De combinatie van goede correctie en groot gezichtsveld is optisch moeilijk te vervullen. Er zijn minstens 5 of 6 lenzen voor nodig, hetgeen groothoekoculairen duur maakt. (figuur 127).
Daarom worden ze ook zelden voor astronomische doeleinden verkocht. Tijdens de laatste wereldoorlog zijn ze echter in verschillende legerkijkers gebruikt, zodat men ze nog wel eens in legerdumps aantreft. De meest voorkomende brandpuntsafstanden zijn 18 en 38 mm. En het gezichtsveld is ca. 70°.
Wat dit voor astronomische waarnemingen wil zeggen, is in figuur 128 in beeld gebracht.
Het sterrenbeeld Orion bekeken met dezelfde vergroting, maar met 3 verschillende oculairen.
We gebruiken bij een bepaald objectief een éénlenzig oculair met zo'n brandpuntsafstand, dat de vergroting 4× is. De binnenste cirkel geeft dan het ware gezichtsveld aan.
De tweede cirkel geeft het gezichtsveld aan van een Kellner-oculair met dezelfde brandpuntsafstand.
De grootste cirkel laat het gezichtsveld van een Erfle-oculair zien.
Opmerking: we hebben de geringe vergroting (4×) slechts als een voorbeeld gekozen om met het Erfle-oculair bijna het hele sterrenbeeld Orion in het gezichtsveld te krijgen.

8. *Zoom-oculairen.* Tot slot nog iets over Zoom-oculairen. Dit zijn oculairen van bijzondere constructie, waarvan de brandpuntsafstand (en dus ook de vergroting van de kijker, waarin ze gebruikt worden) variabel is.
Men stelt het beeld scherp, daarna kan men door het draaien van een ring het beeld groter en kleiner laten worden.

In het inwendige van het oculair worden dan enige lenzen t.o.v. elkaar verschoven.
Deze oculairen zijn door hun ingewikkelde constructie vrij duur.
Dit is op het gebied van oculairen vrij nieuw. (Zoom-*objectieven* voor camera's zijn al langer op de markt.)

8 Kruisdraden

Kruisdraden dienen om het centrum van het veld te markeren. Ze moeten aangebracht worden in het brandvlak van het oculair.
Indien daar een oculair-diafragma aanwezig is, kunnen ze hierop aangebracht worden.
Dikwijls zijn de kruisdraden twee lijntjes, gegraveerd op een glazen plaatje.
De kruisdraden kunnen eventueel verlicht worden door een lampje, dat door een gaatje schijnt, dat aangebracht is ter hoogte van de kruisdraden.

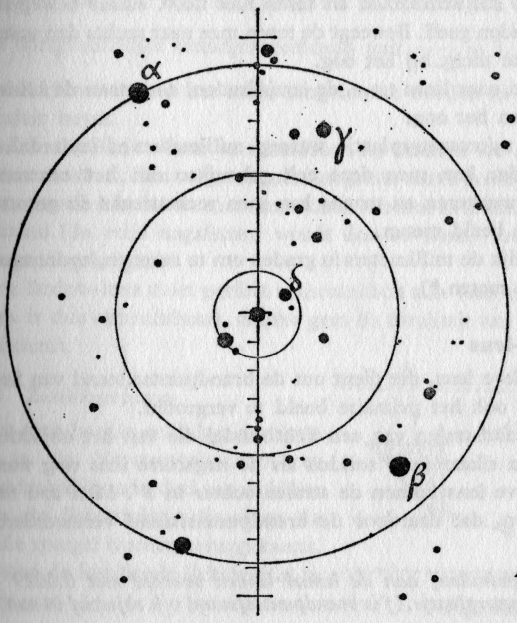


Fig. 128

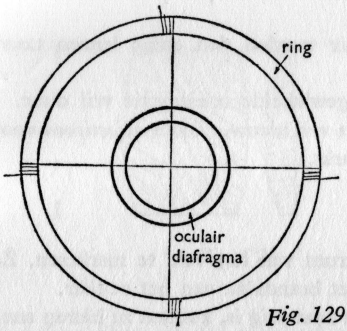


Fig. 129

Van heel fijn koperdraad of van haren kan men zelf kruisdraden maken. Koperdraad kan men goed strekken door het uit te rekken tot het even meegeeft. Het staat dan op het punt ergens door te breken. Span 2 draden loodrecht op een tamelijk grote ring (b.v. ϕ 10 cm). Dit kan vrij nauwkeurig, als we onder de ring 2 lijnen nauwkeurig loodrecht op elkaar tekenen. Breng op 4 punten van het *oculairdiafragma* een druppel velpon aan en leg het diafragma zo nauwkeurig mogelijk in het centrum *op* de kruisdraden. Als de lijm droog is, kunnen we de draden voorzichtig losknippen.

De juiste plaats der kruisdraden controleren we als volgt: Kijk naar een verre toren. De kruisdraden liggen over de toren. Beweeg nu het oog naar rechts. Als kruisdraad en toren niet t.o.v. elkaar bewegen, staan de kruisdraden goed. Beweegt de toren mee naar rechts dan staan de kruisdraden te dicht bij het oog.

Beweegt de toren naar links t.o.v. de kruisdraden, dan staan de kruisdraden te ver van het oog.

Heeft men een micrometerplaatje waarop millimeters of onderdelen daarvan staan, dan kan men deze ook gebruiken om het centrum van het veld te markeren en tevens kan men rechtstreeks de grootte van het primaire beeld meten.

Het is niet moeilijk de millimeters in graden om te rekenen, zodat men ook hoeken kan meten.*)

9 De Barlow-lens

Dit is een negatieve lens, die dient om de brandpuntsafstand van het objectief en dus ook het primaire beeld te vergroten.

1 en 2 zijn de randstralen van een lichtbundel die van het objectief komt. Ze zouden elkaar in F snijden als de negatieve lens weg was. Door de negatieve lens komen de stralen echter in F′. Men zou nu misschien denken, dat daardoor de brandpuntsafstand vermeerderd

---

*) *10′ (10 boogminuten) aan de hemel komen overeen met 0.0029 f mm op het micrometerplaatje. (f is brandpuntsafstand v/h objectief in mm.)*

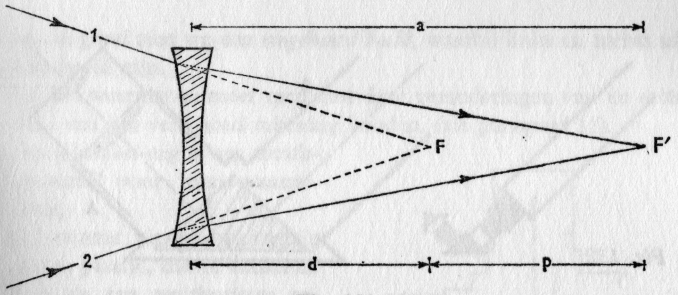


Fig. 130

is met het stukje p. De effectieve brandpuntsafstand van het objectief is echter veel groter geworden.

Als de afstand van de Barlow-lens tot het brandpunt d is en f_b de brandpuntsafstand van de Barlow-lens, dan wordt de oorspronkelijke brandpuntsafstand van het objectief vermenigvuldigd met $\frac{f_b}{f_b - d.}$.

Een Barlow-lens met een brandpuntsafstand van 3 cm die we op een afstand van 2 cm voor het brandpunt F aanbrengen, vermenigvuldigt de oorspronkelijke brandpuntsafstand met $\frac{3}{3-2} = 3$.

De Barlow-lens kan het beste aangebracht worden in de buis die het oculair bevat.

Indien de Barlow-lens verschuifbaar is, kunnen we de vergrotingsfactor variëren. Een vergrotingsfactor groter dan 3 is niet aan te bevelen. Het voordeel is, dat we met een oculair van niet al te kleine brandpuntsafstand (de vrije oogafstand wordt dan zo klein) toch een sterkere vergroting krijgen.

Een Barlow-lens moet perfect achromatisch zijn (een enkele negatieve lens is dus onbruikbaar), anders gaat de kwaliteit van het beeld sterk achteruit.

10 Zenithprisma

Het rechthoekig gelijkbenig prisma is in de Newton-telescoop een noodzakelijk onderdeel van de kijker om de lichtstralen, die door de holle spiegel worden teruggekaatst, buiten de invallende lichtbundel te brengen.

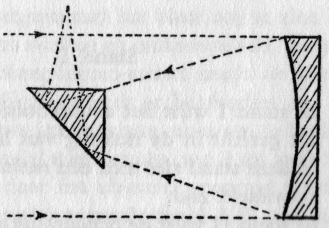


Fig. 131

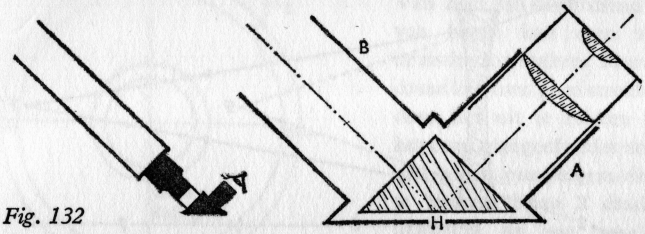


Fig. 132

Bij de z.g. rechtziende astronomische kijkers (de lenzenkijker, de Kutter-telescoop en de Cassegrain-telescoop) gebruikt men zo'n zelfde prisma om waarnemingen nabij het zenith te vergemakkelijken. Als de kijker omhoog gericht staat, zou men anders in een onmogelijke houding onder de kijker moeten gaan liggen.
Het zenithprisma bestaat uit een huis (H), waarin het prisma vastgezet is en twee buisjes. Het ene om het oculair in te schuiven (A). Het andere kan in de kijkerbuis geschoven worden, zodat het makkelijk om de kijkeras gedraaid kan worden (B). Men kan dan in elke stand van de kijker wel een vrij gunstige positie voor het oog vinden.
Twee van deze standen moeten we apart vermelden.

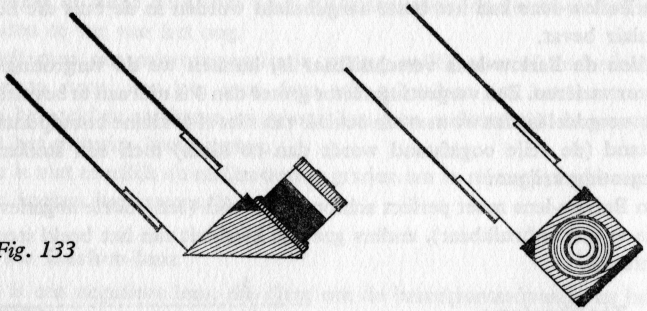


Fig. 133

Stand I Stand II

In stand I wijst het oculairbuisje naar boven en de waarnemer heeft het gezicht in de richting van het objectief.
In deze stand ziet men een *rechtopstaand beeld*, waarbij links en rechts verwisseld zijn.
In stand II wijst de oculairbuis naar ons toe (loodrecht van het papier af) en de waarnemer wijst met de schouder naar het objectief.

In dit geval zien we een *omgekeerd beeld*, waarbij links en rechts niet verwisseld zijn.
Bij het waarnemen moet men met deze veranderingen van de oriëntatie van het veld goed rekening houden. (zie paragraaf 11).
Een *Herschel-wig* is een zenith-„prisma" voor zonne-waarneming.
Hij bestaat uit een wigvormig glazen plaatje, dat in eenzelfde huis als een zenithprisma gemonteerd is. Het schuine vlak A van het huis wordt tijdens het waarnemen weggehaald.
Alleen de zonnestralen die tegen het eerste glasoppervlak teruggekaatst worden (± 5% van het invallende licht) komen in het oculair.
Een gedeelte van het licht wordt weliswaar tegen de achterkant teruggekaatst, maar omdat dit in een heel andere richting is, komt het niet in het oculair.

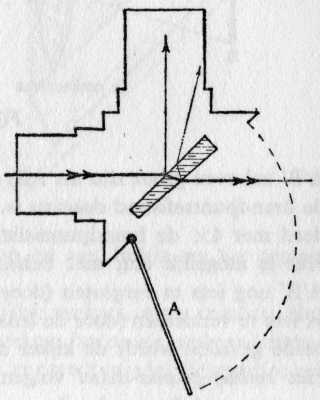


Fig. 134

Omkeerstelsels

Als we het beeld, dat we in de telescoop zien, vergelijken met wat we met het blote oog zien, dan is in dat beeld 'onder' en 'boven' en tevens 'rechts' en 'links' verwisseld.
Voor aardse kijkers is dit al heel onprettig. Maar ook bij de sterrenkijker is dit lastig. Op de sterrenkaarten is alles nl. getekend, zoals we het met het blote oog zien.
Omkeerstelsels zorgen ervoor, dat de oriëntatie van het kijkerbeeld weer in overeenstemming is met hetgeen met het blote oog te zien is.
Er zijn omkeerstelsels die met lenzen werken en omkeerstelsels, waarin prisma's gebruikt worden. Het omkeer-lenzen-stelsel maakt de kijker altijd een stuk langer en door reflecties treedt er lichtverlies op.
In principe kan men met één positieve lens volstaan, maar om de beeldfouten op te heffen gebruikt men veelal méér lenzen (van 3 tot zelfs 7).
AB is het omgekeerde beeld, dat door het objectief gevormd wordt. De omkeerlens maakt hiervan het rechtopstaande beeld A'B', dat met het oculair bekeken wordt.

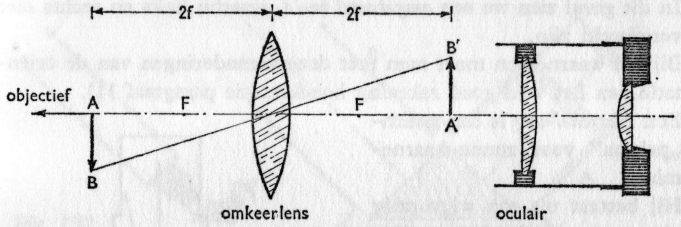


Fig. 135

A'B' zal even groot zijn als AB, als de afstand tot de omkeerlens 2× de brandpuntsafstand daarvan is. De kijkerlengte wordt dan vermeerderd met 4× de brandpuntsafstand van de omkeerlens.

Het is mogelijk om, met behoud van de beeldkwaliteit, het beeld A'B' nog iets te vergroten (door de lens dichter bij AB te brengen) of iets te verkleinen (door de lens verder van AB te brengen), maar in beide gevallen wordt de kijker nog langer.

Het *omkeer-prisma-stelsel* volgens Porro wordt tegenwoordig in de meeste verrekijkers gebruikt, vandaar de naam prisma-kijker.

Als de prisma's (zie fig. 136) op enige afstand van elkaar geplaatst zijn, wordt de lichtweg a.h.w. opgevouwen, zodat de kijker zeer kort gehouden kan worden.

Voor de astronomische kijker wordt het omkeerstelsel veelal geleverd met de prisma's tegen elkaar gemonteerd in een huis met een buisje

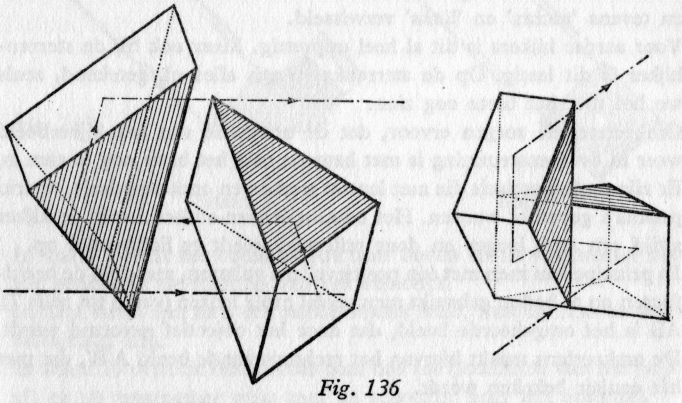


Fig. 136

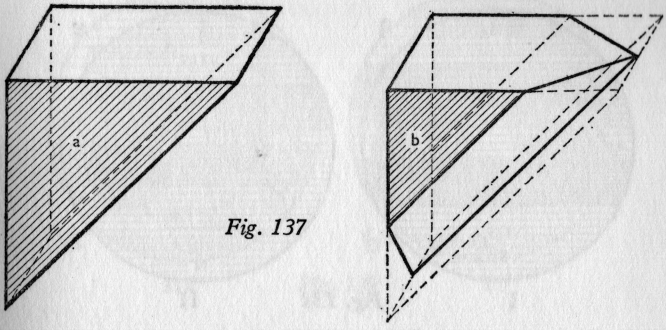


Fig. 137

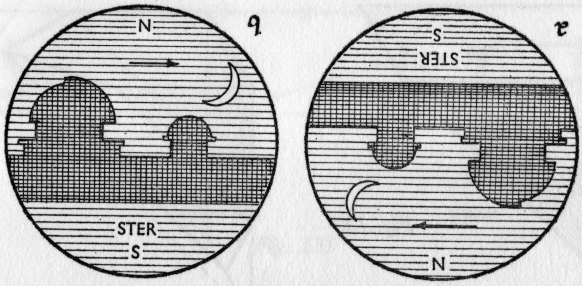
voor de bevestiging aan de telescoop en een buisje om het oculair in te klemmen.
Ook hier wordt de lengte van de kijker verkort, maar minder. Het omkeer-prismasysteem verdient de voorkeur boven een omkeer-lenzenstelsel, want de lichtweg is korter en er treedt minder lichtverlies op.

Het amici-dakkant-prisma

Het amici-prisma is een wonderlijk compact systeem, dat zenithprisma en tevens omkeerstelsel is. De constructie blijkt uit fig. 137 *a* en *b*. Het is een normaal rechthoekig gelijkbenig prisma (*a*) waarvan echter in plaats van het grootste vlak, twee vlakken loodrecht op elkaar geslepen zijn (*b*). Het zijn a.h.w. twee rechthoekig gelijkbenige prisma's in elkaar.
Dit maakt de fabricage erg duur. Niet alleen moeten 2 stel vlakken nauwkeurig loodrecht op elkaar staan, maar ook de 2 snijlijnen van die loodrechte vlakken moeten elkaar loodrecht kruisen.

11 De oriëntatie van het gezichtsveld

Door het gebruik van optische instrumenten kan de oriëntatie van het gezichtsveld veranderd worden. Dit is vooral lastig als men een sterrenkaart gebruikt.
Daarop staan nl. alle objecten in dezelfde oriëntatie als met het ongewapend oog.
Maankaarten geeft men altijd zoals ze gezien worden door een astronomische kijker zonder zenithprisma.
We zullen nu de 4 verschillende mogelijkheden behandelen en daarbij aangeven:



I *Fig. 138* II

a. bij welke wijze van waarnemen men ze aantreft;
b. hoe men bij deze oriëntatie de sterrenkaart moet gebruiken.

De figuurtjes geven allen een gezichtsveld aan de zuidelijke horizon weer.
Langs de randen staan de windstreken, waarbij men moet bedenken, dat N(oord) in dit geval slechts de richting van het Noorden aangeeft. Verder is de maan in het eerste kwartier getekend, een skyline en een pijl die de richting van de dagelijkse beweging der hemellichamen aangeeft.
En tenslotte is het woordje *ster* getekend, zoals men het in de 4 oriëntatiemogelijkheden zou zien.

I. Geeft het gezichtsveld:

1. met het ongewapende oog,
2. zoals het op de sterrenkaart te zien is,
3. met de telescoop en een omkeerstelsel.

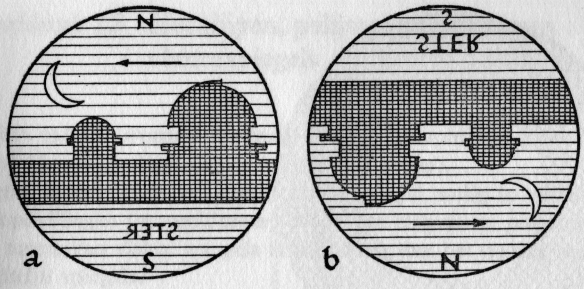
Het gebruik van de sterrenkaart geeft hier natuurlijk geen moeilijkheid.

II. Geeft het gezichtsveld:

Gezien door de telescoop.
Dit is dus het 'normale' beeld door een sterrenkijker. Als we de sterrenkaart gewoon onderste boven keren, krijgen we dezelfde oriëntatie als door de telescoop. (Probeer maar met fig. 138 II)

III. Geeft het gezichtsveld:

1. met zenithprisma. (gezicht naar het objectief)
2. met oculair-projectie d.w.z. als wij het oculair iets naar buiten schuiven en het beeld (b.v. van de zon) op een scherm opvangen.



III *Fig. 139* IV

Dit is dus het 'normale' beeld bij het kijken met een zenithprisma, als we het gezicht naar het objectief hebben.
Bij gebruik van een sterrenkaart, moeten we het gebied dat ons interesseert, op transparantpapier overtrekken en dan aan de achterzijde bekijken. (Probeer het met fig. 134 III).

IV. Geeft het gezichtsveld:

Met het zenithprisma (schouder naar objectief),
Bij gebruik van de sterrenkaart moet men het bepaalde gebied op transparant papier overtrekken en de achterkant onderste boven bekijken.

12 Filters en horregaas

Filters kunnen dienen om de lichthoeveelheid te verminderen, zoals bij waarnemingen van de zon en ook van de maan, zonder het oplossend vermogen te verminderen.
Ze kunnen neutraal grijs zijn of bruinig, blauwachtig enz. Ideaal, maar kostbaar, is een filter vóór het objectief.
Bij zonnefilters komt het filter zo mogelijk vóór het zenithprisma om het prisma te beschermen tegen te sterke verhitting.
Meestal maakt men filters, die buiten op het oculair bevestigd kunnen worden, omdat het filter dan maar heel klein behoeft te zijn.
Zonnewaarnemingen, ook met een zwaar filter, zijn nooit zonder gevaar; men moet er in geen geval te lang achtereen door kijken.
Een andere functie van filters is het verhogen van het contrast. Zo kan men met een blauw-filter soms de sporen van het secundaire spectrum onzichtbaar maken.

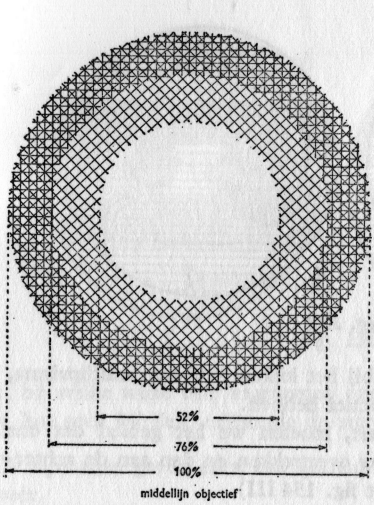


Fig. 140

Bij waarnemingen van details op planeten kan men met vrucht gebruik maken van geelfilters en roodfilters van verschillende sterkte.
Een eenvoudig middel om het scheidend vermogen van een lenzenkijker*) te verbeteren, is het plaatsen van een *diafragma* van *enige lagen horrengaas* vóór het objectief.
De tekening geeft een diafragma met 2 lagen. Als er 3 lagen zijn, moeten de draden een hoek van 60° met elkaar maken en de gaten moeten resp. 52%, 76% en 88% zijn van de objectiefmiddellijn.
Ook één laag is te gebruiken. De centrale opening moet 60% van de objectiefmiddellijn zijn.
Dit is alleen te gebruiken bij sterren en planeten; niet bij de maan. Rond de planeten b.v. verschijnen gekleurde nevenbeelden (buigingsspectrum) die echter niet storen, omdat ze er ver genoeg vanaf staan.
De details op de planeet worden echter verrassend duidelijker.

---

*) *Op spiegel-kijkers heb ik het nooit geprobeerd, maar omdat het opgeroepen effect invloed heeft op de buigingsringen in het beeld, zou het ook bij spiegel-kijkers geprobeerd kunnen worden.*

Hoofdstuk 12 Het slijpen, polijsten en testen van vlakke spiegels

Vlakke spiegels worden in verschillende kijkersystemen gebruikt (b.v. de vlakke vangspiegel in een Newton-telescoop).
Verder is een (soms vrij grote) vlakke spiegel nodig in verschillende testopstellingen (autocollimatie). Noch het slijpen en polijsten, noch het testen van vlakke spiegels is moeilijker dan het maken van goede sferische spiegels.
We veronderstellen echter, dat iemand die vlakke spiegels gaat maken, reeds ervaring heeft met sferische spiegels.

1 Principe van de testmethode

Lichtgolven kunnen elkaar in bepaalde omstandigheden versterken of uitdoven.

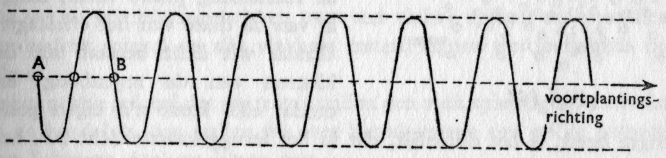


Fig. 141

De afstand AB noemen we de golflengte (λ).
Voor rood licht is deze afstand $\pm$ 7/10000 mm, voor geel licht 6/10000 mm en voor violet licht 4/10000 mm.
Als in A tegelijkertijd nog eenzelfde golfbeweging vertrekt, zullen beide golfbewegingen elkaar maximaal versterken als de bergen en dalen samenvallen. (fiiguur 142).
Als echter de bergen van de ene golfbeweging samenvallen met de dalen van de tweede golfbeweging, zullen de golven elkaar maximaal verzwakken. (figuur 143).

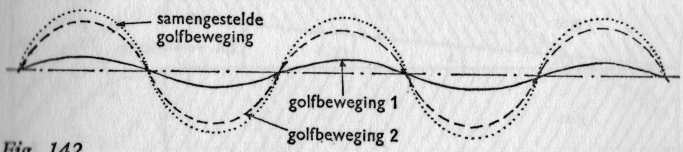


Fig. 142

Fig. 143

En als beide golfbewegingen even sterk zijn, zullen ze elkaar zelfs geheel uitdoven.

Ieder heeft deze zgn. interferentie-verschijnselen wel eens gezien. Als een dun laagje olie op het water drijft, zal een straal, die op de bovenkant van het olielaagje valt, gedeeltelijk worden teruggekaatst.

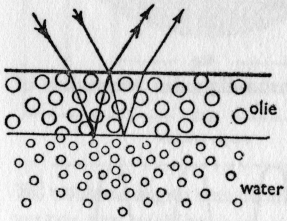


Fig. 144

Een ander deel wordt gebroken en wordt tegen het wateroppervlak teruggekaatst.

De beide teruggekaatste stralen gaan nu interfereren. Of uitdoving of versterking plaats vindt, hangt af van de dikte van het olielaagje. Omdat wit licht bestaat uit 'de kleuren van de regenboog' en omdat elke kleur z'n eigen golflengte heeft, is het duidelijk, dat in het teruggekaatste licht b.v. het rood uitgedoofd is, terwijl het blauw versterkt wordt. Het teruggekaatste licht is dus gekleurd.

Zo ontstaan de kleuren van zeepbellen, dunne olielaagjes etc.

Het principe van de interferentie gaan we toepassen om geringe hoogteverschillen zichtbaar te maken.

Als we twee vlakke glazen platen op elkaar leggen, blijft er over het algemeen een luchtspleet tussen beide platen. (figuur 145).

Nemen we aan, dat deze platen aan de rand op een afstand van twee golflengten van geel licht van elkaar staan (dus 12/10.000 mm!).

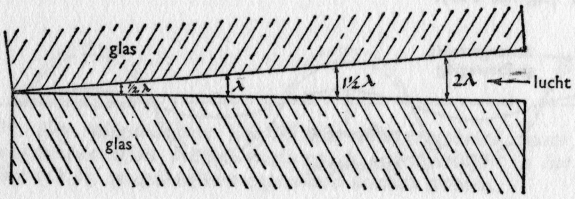


Fig. 145

Fig. 146

Als we nu geel licht boven op de platen laten schijnen, dan zullen we, als we van boven op de glazen platen kijken, lichte en donkere banden zien:
Bij 1 hebben we totale uitdoving van het gele licht, bij 2, 3, 4 en 5 ook.
Van 1 naar 5 gaande neemt de dikte van de lucht-wig steeds met een halve golflengte af.
De donkere banden zijn a.h.w. hoogte-lijnen: de hoogte van de lucht-spleet is op eenzelfde band steeds gelijk.

Als we de beschikking hebben over een vlakke spiegel en we willen een andere spiegel op zijn vlakheid testen, leggen we de spiegels op elkaar.
Is het stukje spiegel dat we testen willen een stuk spiegelglas, zoals dat in de handel is, dan zullen we over het algemeen een grillig patroon van lichte en donkere lijnen zien.
Bij onderstaand patroon kunnen we concluderen, dat punten A en B 6 halve golflengten in hoogte verschillen.
Als we zelf getracht hebben een spiegel vlak te slijpen en te polijsten, zal het patroon in het algemeen regelmatiger zijn; onze spiegel zal vrijwel sferisch zijn met een zeer grote kromtestraal. (figuur 148).

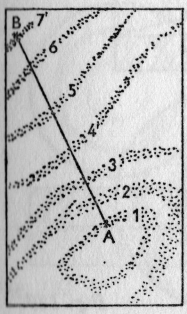


Fig. 147a

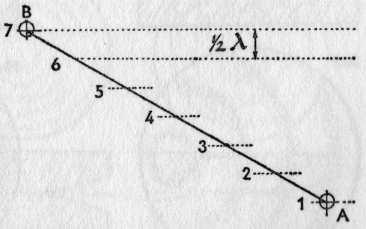


Fig. 147b

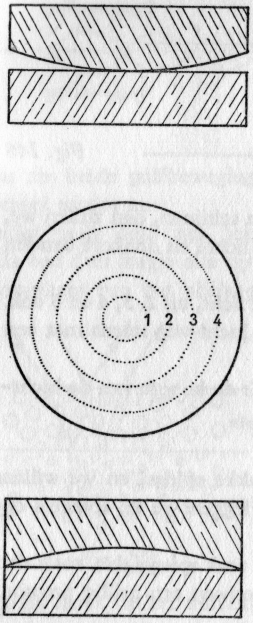


Fig. 148

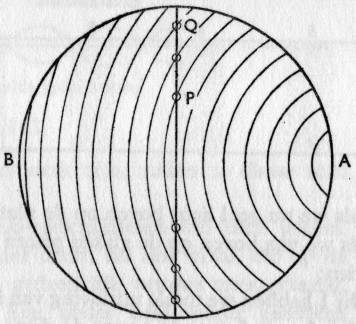


Fig. 150

In het getekende geval is onze spiegel bol en het centrum ligt 4 halve golflengten lager dan de rand. Het patroon zou echter hetzelfde geweest zijn, als onze spiegel hol was geweest, zoals in nevenstaande figuur.

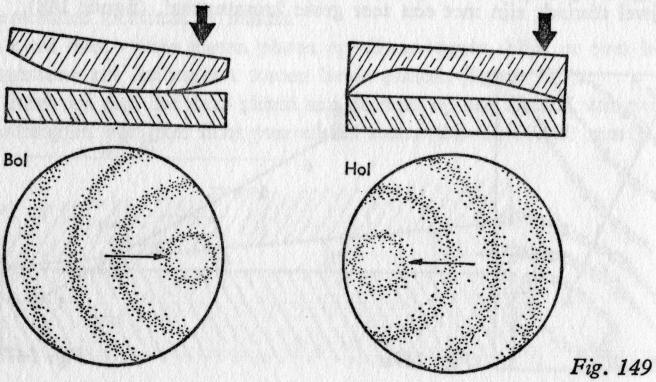


Fig. 149

Hoe kunnen we uitmaken of onze spiegel hol of bol was?
Als we op een punt aan de rand van de spiegel druk uitoefenen, zullen de banden naar dit punt toe bewegen als de spiegel bol was en ervan af bewegen, als de spiegel hol was (zie figuur 149).
Als we beide glasplaten op elkaar leggen, zullen we in het algemeen géén oog in het midden zien, maar een aantal gebogen banden:
Door druk bij A of B (figuur 150) uit te oefenen, is het mogelijk om een ring in het midden van de spiegel te krijgen, maar nodig is het niet. We leggen een lineaal over het midden van de spiegel en tellen hoeveel banden door de lineaal gesneden worden.
In figuur 150 worden drie banden gesneden, zodat we weten, dat P twee halve golflengten hoger of lager ligt dan Q. Het hoogteverschil tussen rand en midden van de spiegel zal nu ongeveer $1\frac{1}{2}$ golflengte bedragen.
Op deze manier komen we te weten hoeveel onze spiegel van een zuivere vlakke spiegel afwijkt en kunnen we de afwijking gaan corrigeren.

2 Testen zonder vlakke spiegel

Als we geen vlakke testspiegel tot onze beschikking hebben, kunnen we de afwijkingen van drie tennaastebij vlakke spiegels als volgt bepalen:
We merken de spiegels met A, B en C.
We leggen A op B en noteren de afwijking in halve golflengten, b.v. 2.
Daarna A op C (b.v. 4 halve golflengten).
Tenslotte B op C (b.v. 5 halve golflengen). (In figuur 151 gelden andere getallen).
Uit deze gegevens is nu te berekenen hoeveel elke spiegel van een

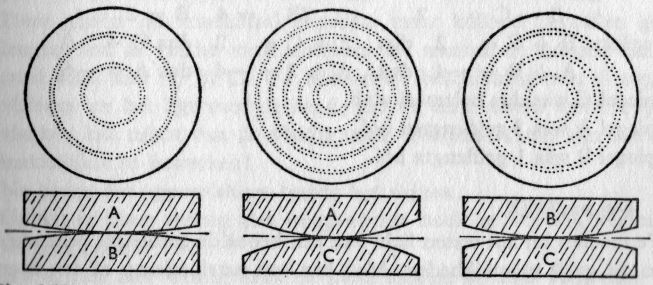


Fig. 151

volmaakt vlakke spiegel afwijkt. Dit komt neer op het oplossen van drie vergelijkingen met 3 onbekenden (hetgeen gemakkelijk in te zien is). Wie daarmee niet op de hoogte is, volgt eenvoudig het onderstaande rekenschema:

Gegeven:	Trek de eerste 2 van elkaar af:	Tel de uitkomst bij de laatste:
$A + B = 2$	$A + B = 2$	$A + C = 4$
$C + B = 5$	$-\ C + B = 5$	$+\ A - C = -3$
$A + C = 4$	$A - C = -3$	$2A = 1$
		$A = \frac{1}{2}$

Verder: $A + C = 4$ dus $\frac{1}{2} + C = 4$ dus $C = 3\frac{1}{2}$

Verder: $A + B = 2$ dus $\frac{1}{2} + B = 2$ dus $B = 1\frac{1}{2}$
A wijkt dus $\frac{1}{4}$ golflengte van de vlakke vorm af.
B wijkt $\frac{3}{4}$ golflengte af en C $1\frac{3}{4}$ golflengte.
Bij deze berekingen betekent een positieve uitkomst dat de spiegel bol is en een negatieve uitkomst dat de spiegel hol is.
Bij het op elkaar leggen van de spiegels moeten we ook kijken of de spiegels elkaar aan de rand, dan wel in het midden raken (door druk op de rand uit te oefenen, zie vorige paragraaf).
Raken ze elkaar in het midden, dan moeten we een positieve uitkomst opschrijven, anders een negatieve.
Nemen we als voorbeeld nog het volgende:
$A + B = -4$ (4 banden en de spiegels raken elkaar aan de kant).
$A + C = -6$
$B + C = 2$
Dan is $A + B = -4$ $\quad$ $B - C = 2$
$-\ A + C = -6$ en $-\ B + C = 2$
$B - C = 2$ $\quad$ $2B = 4$ $\quad$ $B = 2$
Verder: $B + C = 2$ dus $2 + C = 2$ dus $C = 0$
$A + B = -4$ dus $A + 2 = -4$ dus $A = -6$
Spiegel C was dus helemaal vlak.
Spiegel A was 3 golflengten hol.
Spiegel B was 1 golflengte bol.

3 De praktijk

We moeten bij het testen licht van een bepaalde golflengte gebruiken. En dit geeft moeilijkheden. Men kan een natriumlamp of een neonlamp gebruiken. Ik gebruik zelf een sterke natriumlamp, maar het is

mij niet bekend waar deze tegen een redelijke prijs te krijgen zijn. We leggen de spiegels op een dofzwarte doek en brengen de natriumlamp erboven aan.

Vlak onder de natriumlamp komt een vel dun, wit, tekenpapier. Nu kijken we vrij steil op de spiegels, zodat we het egaal verlichte tekenpapier in de spiegel weerspiegeld zien.

De interferentielijnen zijn dan ook zichtbaar.

Wie niet aan een monochromatische lichtbron kan komen kan het volgende doen.

Neem i.p.v. de natriumlamp een gewone lamp en houdt voor het oog een zwaar roodfilter.

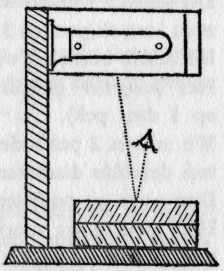


Fig. 152

De lijnen zijn nu niet zo duidelijk, maar het is bruikbaar.

(Men kan experimenteren met verschillende stukjes zwaar gekleurd glas; misschien dat het resultaat te verbeteren is. Wij hebben het alleen met een zwaar roodfilter voor fotografie geprobeerd.)

Wat we nu gaan doen hangt af van de grootte van de spiegel die we nodig hebben.

We zullen eerst een methode behandelen om 3 grote vlakke spiegels te krijgen en later een eenvoudiger methode aangeven voor degenen die slechts een klein vlak vangspiegeltje nodig hebben.

Neem 3 glazen platen van laat ons zeggen 10 cm middellijn. De dikte nemen we evenals bij spiegels die we sferisch slijpen minstens 1/8 van de middellijn.

Deze glazen zijn machinaal gepolijst maar kunnen tientallen golflengten van de vlakke vorm afwijken. We merken de spiegels aan de rand eerst met A, B, C. We hebben de beschikking over 6 oppervlakken en het ligt voor de hand, dat we eerst testen welke oppervlakken het minst van de vlakke vorm afwijken. Deze zijn het gemakkelijkst te bewerken!

Na keuze der oppervlakken begint het *slijpen.*

Omdat er maar weinig glas weggenomen hoeft te worden, beginnen we met poeder FFF.

We slijpen met weinig druk en korte slagen, in deze volgorde:

A op B, B op A etc. zoals in 't volgende schema is aangegeven:

A	B	A	C	B	C
—,	—,	—,	—,	—,	—
B	A	C	A	C	B

Dit schema werken we tweemaal af en zorgen ervoor, dat we telkens even lang slijpen (ca 3 min.) en met telkens (weinig) vers slijppoeder. Hetzelfde herhalen we met poeder 800 en 1200.

Het *polijsten* gebeurt op een harde pekbodem (3 volumedelen hars op 1 deel pek).

We maken 2 pekbodems, die we op 2 vlakke glasplaten gieten, liefst van dezelfde diameter als onze 3 spiegels.

Dan gaan we polijsten met korte slag.

Hier moeten we vooral zorgen, dat de spiegel en de pekbodem goed met elkaar in contact komen.

Daarom wordt de spiegel B (ingewreven met een papje polijstpoeder) onder druk op de tweede pekbodem gelegd, als we A gaan polijsten op de eerste pekbodem.

Daarna wordt tijdens het polijsten van B, spiegel C op de eerste pekbodem gelegd, enz.

We polijsten telkens een kwartier. Waarschijnlijk kunnen we na de eerste keer polijsten de spiegels reeds testen.

Ze moeten daarvoor goed schoongemaakt worden, *niet* onder de koude kraan, maar met een vochtige doek, daarna met een beetje spiritus. (Als het kraanwater op kamertemperatuur is, is afspoelen onder de kraan natuurlijk geen bezwaar.)

Bij het testen drukken we zó op de rand van de spiegels, dat de banden ongeveer 1 cm van elkaar komen.

Met een liniaal, over het midden gelegd, kijken we hoeveel banden door de liniaal gesneden worden, etc.

Na berekening van de afwijking van de vlakke spiegel kunnen we tegelijk met het polijsten reeds corrigeren:

Is de spiegel bol, dan maken we grotere slagen. Is de spiegel hol, dan leggen we de spiegel onder en polijsten met de pekbodem.

Het kan voorkomen, dat een der spiegels met het polijsten de vorm gaat vertonen van figuur 153.

Bij het testen merken we dit, doordat bij druk op de rand enige banden naar de plaats van druk toe bewegen en andere ervan af bewegen. We kunnen dan het best eerst de *hele* oppervlakte bol maken (spiegel onder en polijsten met pekbodem) en daarna deze bolvorm weer corrigeren.

Fig. 153

Een oppervlakte die tot op 1/4 λ vlak moet zijn geeft geen moeilijkheden.
Bij groter nauwkeurigheid, b.v. 1/10 λ, moeten we vóór het testen telkens enige uren wachten om de spiegels de gelegenheid te geven de temperatuur van de omgeving aan te nemen.

4 De één-spiegelmethode

Vooral bij kleinere spiegels (b.v. de vangspiegel van een Newtontelescoop) waarvan we het slijpen en polijsten aanstonds zullen beschrijven, is een vereenvoudigde testmethode mogelijk.
Uit spiegelglas snijden we een aantal rechthoekige stukken van de grootte, die wij nodig hebben.
Door het testen van de oppervlakken berekenen we de afwijking van elke oppervlakte.
We kiezen de minst-afwijkende uit als test-spiegel. Deze wordt niet verder geslepen en gepolijst.
Nemen we aan, dat deze spiegel bol is en dat rand en midden één golflengte in hoogte verschillen (2 banden).
Een der andere spiegels gaan we nu slijpen en polijsten. We testen met onze uitgezochte spiegel.
Als er twee banden gesneden worden, wijst dit erop, dat onze spiegel vlak is.
Voor het slijpen en polijsten zijn 2 glasschijven nodig.
Deze worden eerst tegen elkaar geslepen met FFF, zodat beide vrijwel vlak zijn (telkens 1 minuut de ene boven, daarna de andere).
Op een der beide schijven worden nu stukken spiegelglas, die wij vlak willen maken, vastgekit met paraffine.
Voordat we dit doen, gaan we elk stuk op de glazen schijf slijpen met FFF om te zorgen, dat deze ook tennaastebij vlak zijn. Ook de vulstukken van dezelfde glasplaat worden op deze wijze bewerkt.
De glazen schijf wordt nu in gloeiend water boven het smeltpunt van paraffine verhit. Daarna wordt de oppervlakte met een dunne laag hete vloeibare paraffine bestreken.
De spiegel(s) die wij vlak willen maken, wordt(-en) rond het centrum van de schijf goed vastgedrukt, met hun matte zijde op de paraffine. (Ook deze stukken spiegelglas eerst op temperatuur brengen.)

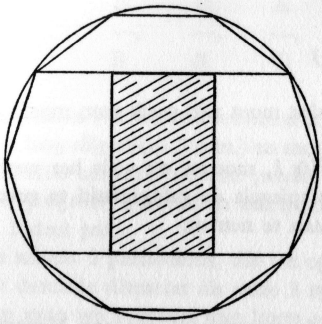


Fig. 154

De vulstukken worden er rondomheen aangebracht.
De paraffinelaag onder de spiegels moet zo dun mogelijk zijn.
Met de zo verkregen plaat en de tweede spiegelschijf gaan we nu dezelfde bewerkingen uitvoeren als in 3 beschreven is. (d.w.z. Slijpen en polijsten).
Het testen doen we met een vlakke spiegel, die we reeds gemaakt hebben, of met een stukje spiegelglas, dat we geselecteerd hebben zoals aan het begin is aangegeven.

Hoofdstuk 13 Het slijpen en polijsten van kleine lensjes

Rond 1670 horen we voor het eerst van een zekere Antoni van Leeuwenhoek uit Delft, die met uiterst kleine lensjes wonderlijke ontdekkingen doet in de micro-wereld.
Hij *sleep* zijn kleine lensjes, waarvan sommige een brandpuntsafstand hadden van 1 millimeter.
Andere tijdgenoten gebruikten voor deze waarnemingen glasbolletjes, die door smelten verkregen waren (Hooke, Hartsoeker, Huygens, Musschenbroeck), maar de kwaliteit ervan haalde het niet bij die van de geslepen lensjes van Van Leeuwenhoek.
Van Leeuwenhoek heeft zijn slijpmethode altijd geheim gehouden en dit heeft mij van jongsaf geboeid.
HOE sleep hij die lensjes?
Het moet met zeer primitieve hulpmiddelen gebeurd zijn, dat is absoluut zeker.
Zouden wij, die beschikken over vrijwel volmaakte slijp- en polijstpoeders, in een tijd waarin het meest ordinaire vensterglas nog beter is dan wat als beste kwaliteit in Van Leeuwenhoek's dagen te krijgen was ...., zouden wij datzelfde niet veel gemakkelijker kunnen presteren?
Dit was de leiddraad, die mij een methode deed vinden, waarmee men in enige minuten een lensje kan slijpen met een brandpuntsafstand van enige millimeters.
De enige hulpmiddelen zijn: een drilboortje (zoals bij figuurzaagwerk gebruikt wordt) zegellak, een plaatje koper en wat fietskogeltjes.
Verder natuurlijk slijp- en polijstpoeders, die we ook voor het slijpen van grote lenzen en spiegels nodig hebben.
Wat grotere lenzen, met middellijn van 1 tot 3 cm, kunnen we veel beter met een klein slijp- en polijstmachientje maken.
Deze manier is ook overal in optische werkplaatsen voor het maken van lensjes, waarvan men er maar één nodig heeft (voor nieuwe ontwerpen etc.), in gebruik. En de amateur kan heel gemakkelijk zoiets maken. Het vraagt echter direct veel ingewikkelder hulpmiddelen.

Vooraf een beetje optica

Bij gebruik van gewoon glas (bv. vensterglas en spiegelglas) kunnen we het volgende opmerken:

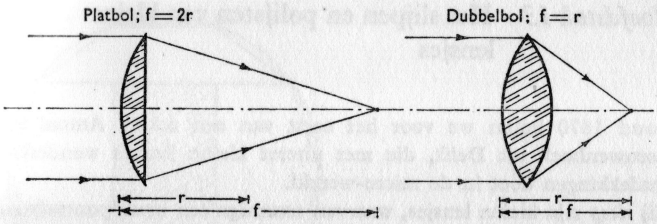


Fig. 155

Bij een platbolle lens is de brandpuntsafstand gelijk aan 2 maal de kromtestraal van het bolle oppervlak (f = 2 r). In de tekening is dit weergegeven.
Bij een dubbelbolle lens is de brandpuntsafstand gelijk aan de kromtestraal (f = r).
Een van de hinderlijkste fouten van zo'n enkele lens is de sferische aberratie.
Deze is echter op zijn kleinst, als de kromtestraal van het achtervlak (naar het oog gekeerd) 6 maal zo groot is als die van het voorvlak. Maar ook platbolle lenzen vertonen al veel minder sferische aberratie dan dubbelbolle lenzen.
Willen we nu een lens slijpen met een brandpuntsafstand van 6 mm, dan kiezen we als kromtestraal van het voorvlak 3 mm en van het achtervlak 18 mm. (Dit achtervlak beïnvloedt de brandpuntsafstand niet noemenswaard.) Hoewel het lensje maar een bruikbare beeldhoek van $\pm$ 10° heeft, is het toch te prefereren boven een 5-lenzig orthoscopisch (zeer duur) oculair in een astronomische kijker met een kleine openingsverhouding.
Het beeld is nl. zeer contrastrijk omdat er weinig licht door inwendige reflectie verloren gaat.
Het is belangrijk de rand van het veld door een oculairdiafragma af te schermen, anders krijgt men steeds het onplezierige gevoel dat het beeld niet scherp is.

Fig. 156

De slijp-pannetjes

Hoe krijgen we een holle sferische vorm om het lensje te slijpen? Neem een fietskogeltje met een middellijn van b.v. 6 mm (de kromtestraal daarvan is natuurlijk de helft, nl. 3 mm) en leg dit op een koperen plaatje van enige mm dikte. Onder dit koperen plaatje een blokje hout. Sla nu met een hamer het fietskogeltje in het koper.

Op deze wijze kunnen we een koperen pannetje maken met dezelfde kromtestraal als het fietskogeltje. Wie bang is, dat het pannetje nogal zal afwijken van de zuivere bolvorm, bedenke, dat door het slijpen zowel koper als glas afslijt en dat het pannetje hierdoor heel gauw perfect sferisch zal zijn.

Het is ook mogelijk het fietskogeltje met de bankschroef in een blokje aluminium te draaien; dan springt het kogeltje niet telkens weg en de druk wordt gelijkmatig uitgeoefend.

Het glas

Van niet te dik vensterglas (2 à 3 mm) snijden we met een glassnijder lange reepjes, ongeveer 2 à 4 mm breed, naargelang de middellijn van de lensjes, die we willen slijpen. Daarna snijden we hiervan kleine vierkantjes. Waarschijnlijk kunnen we meer dan de helft weggooien, omdat de breuklijn niet loodrecht verloopt.

Willen we platbolle lensjes maken, dan moeten we de stukjes glas goed selecteren: er moet een onbeschadigde vlakke kant aan zitten.

Van dit vierkante stukje glas ronden we de hoeken af, door ze op een stuk carborundumsteen te slijpen (gewoon met de hand).

Beter is het, ze na bevestiging in de boor af te ronden tegen twee stukken carborandumsteen die loodrecht op elkaar staan.

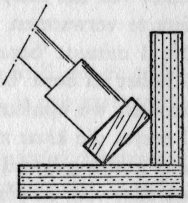


Fig. 157

Het slijpen en polijsten

We steken i.p.v. het boortje een kleine spijker in de boorhouder en bevestigen het stukje glas met zegellak op de platte kop.

De rest is eenvoudig en gaat snel, omdat er maar zo weinig glas weggenomen behoeft te worden.

We doen een druppel water en wat slijppoeder FF in het slijppannetje. Daarna 'boren' we, bijna zonder druk en snel. In het begin gaat het wat stroef, omdat de zijkant nog niet rond is.

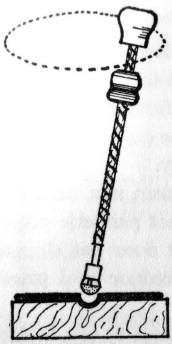


Fig. 158

Telkens de boor even oplichten om het papje van slijppoeder gelegenheid te geven onder in het pannetje te komen.
Tijdens het 'boren' beschrijven we langzaam een kegelmantel met de boor.
Er wordt daardoor een groter deel van het glas bewerkt als met de boor rechtop en ook kunnen we dan zeker zijn van de zuiver sferische vorm. Na grondig schoonmaken, herhalen we dit achtereenvolgens met de poeders FFF, 800 en 1200.
Ongeveer één minuut voor elke poeder is voldoende. Met een loepje controleren we telkens of er geen foutjes op de oppervlakte te zien zijn.
Concentrische groeven komen nogal eens voor, als er een grover korreltje slijppoeder of glas in het pannetje zit.
Slijp lensjes niet in serie, maar werk er telkens één af. De kromtestraal van het pannetje verandert nl. door het slijpen.
Vóór het polijsten maken we het lensje vochtig en dopen het in de polijstpoeder.
Daarna 'boren' we voorzichtig (maar vlug) op een blokje pek. Daardoor ontstaat snel een kuiltje. Dit mag in geen geval dieper worden dan de dikte van het lensje. We kunnen dit kuiltje ook krijgen door de pek iets te verwarmen en het lensje erin te drukken.
Na 1 minuut 'boren' is het lensje gepolijst.
Als het na even 'boren' niet mooi gelijkmatig glimmend wil worden, moeten we opnieuw slijpen.
Lensjes die klaar zijn, kunnen we monteren op een cent, waarin we een gaatje geboord hebben van enige mm. Schuur beide kanten van de cent vlak en plak het lensje (desnoods met velpon) in het midden tegen de cent.

Hoofdstuk 14 Aberraties of afbeeldingsfouten

In verschillende hoofdstukken van dit boek zijn afbeeldingsfouten ter sprake geweest. We zullen de belangrijkste hier behandelen.

We onderscheiden de volgende aberraties:

1. *Sferische aberratie*, die de scherpte over het hele beeldveld nadelig beïnvloedt (dus ook in het centrum!)
2. Het *astigmatisme*, die niet in het centrum optreedt, maar naar de randen toe de scherpte doet afnemen.
3. De *coma* (zie astigmatisme).
   De coma vormt echter asymmetrische beeldpunten en is daardoor storender dan het astigmatisme.
4. *Beeldwelving* beïnvloedt de scherpte van het beeld niet; alleen ligt het beeld, dat gevormd wordt van voorwerpen op grote afstand, niet in één plat vlak maar op een gekromd vlak.
5. *Vertekening* heeft ook geen invloed op de scherpte maar maakt dat het beeld een andere vorm heeft dan het voorwerp.
6. *De chromatische aberratie* treedt alleen op bij lenzen, niet bij spiegels. Ze beïnvloedt de scherpte nadelig over het gehele veld, omdat ze van één lichtpunt gekleurde beeldpunten vormt op verschillende plaatsen.

Sferische aberratie

De randstralen 2 komen op de optische as samen in F_2 en de centrale stralen 1 komen samen in F_1. De afstand F_1 F_2 is een maat voor de sferische aberratie.
De lens (of de spiegel) vormt dus van een bundel stralen die *evenwijdig aan de optische as* invallen, geen brand*punt*, maar een brand*vlek*, waarvan de doorsnede in fig. 159 is getekend.

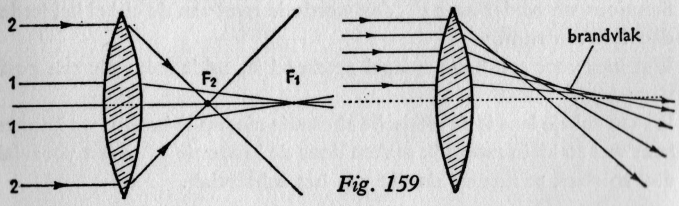


Fig. 159

Bij een enkele lens of spiegel die zuiver sferische vlakken heeft, komt deze fout altijd voor; ze wordt daarom *sferische* aberratie genoemd: afwijking door bolvormigheid.
Ze is positief als F_2 dichter bij het objectief ligt dan F_1, zoals in fig. 159; en negatief als F_1 dichter bij het objectief ligt. In fig. 160*a* getekend voor een holle lens, in fig. 160*b* voor een bolle spiegel.

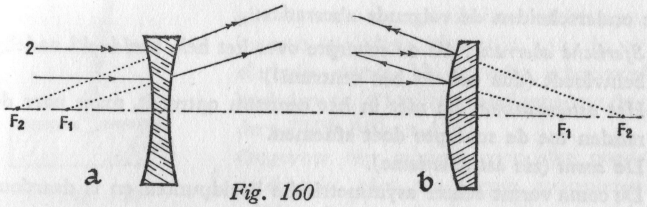


Fig. 160

Het is nuttig om na te gaan wat we achtereenvolgens zien als we een stukje matglas van F_2 naar F_1 schuiven.
In F_1 een zwak verlichte cirkel (met de middellijn AB) met een heldere punt in het midden.
Bij het schuiven naar F_2 wordt de cirkel kleiner en helderder tot ze bij CD het kleinst is.

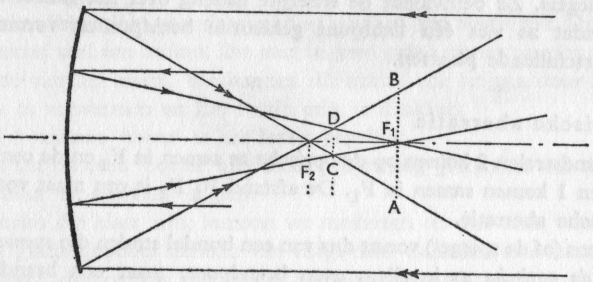
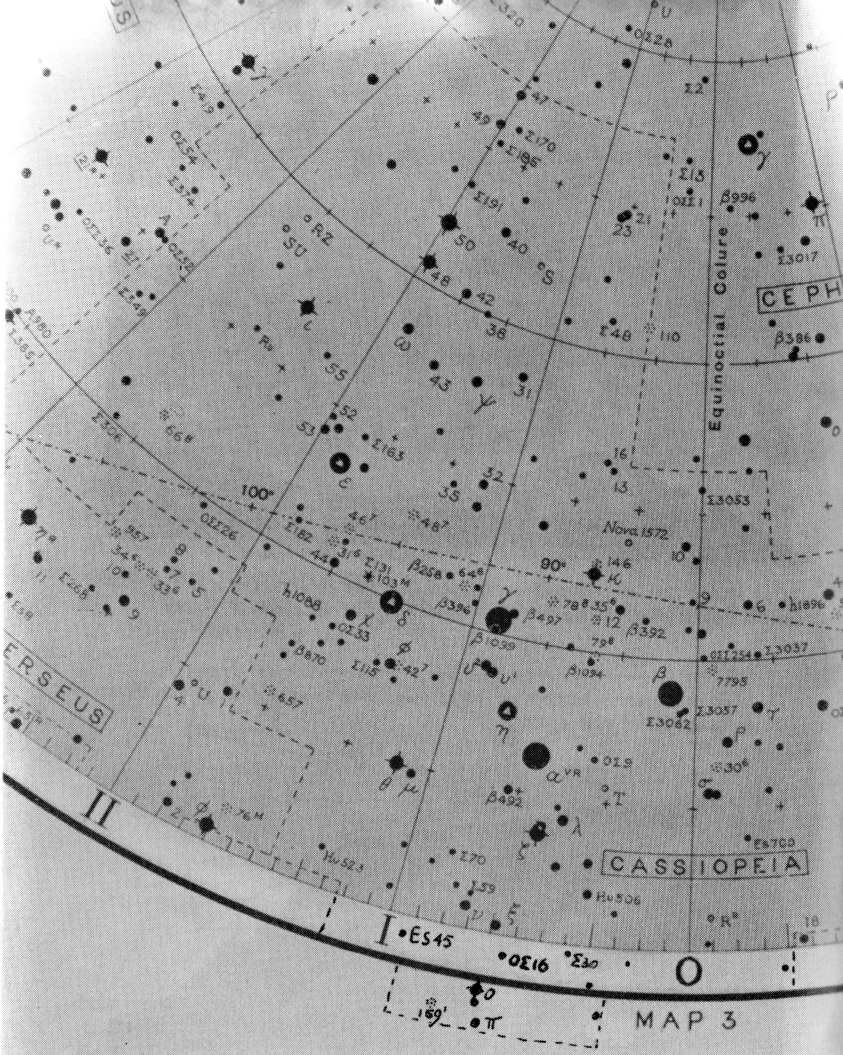


Fig. 161

Schuiven we verder naar F_2, dan wordt de rand van de cirkel helderder dan het centrum.
Wat hier voor een holle spiegel getekend is, geldt ook voor een positieve lens.
Bij een enkele lens is de sferische aberratie niet op te heffen; we kunnen hem wel zo klein mogelijk maken door de kromming van het voorvlak 6× zo sterk te nemen als die van het achtervlak.

Een stukje glas en enige kleine lensjes, geslepen en gepolijst met een drilboor. Het kleinste lensje heeft een brandpuntsafstand van 0.7 mm.

De kleinste Kutter-telescoop: de hoofdspiegel heeft een middellijn van 6 cm en de vangspiegel van 3 cm.



Een gedeelte van kaart I van Norton's sterrenatlas waarop het sterrenbeeld CASSIOPEIA staat afgebeeld.

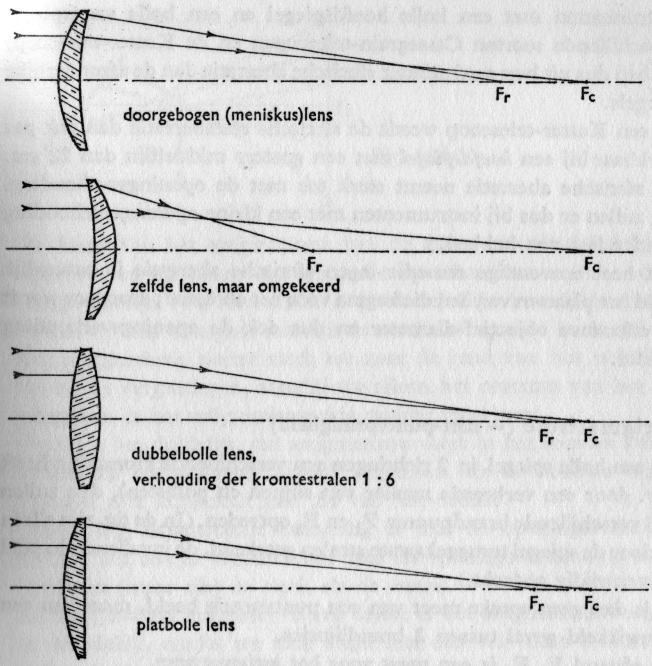


Fig. 162

In fig. 162 is de sferische aberratie van verschillende lensvormen in beeld gebracht.

F_c = brandpunt van de centrale stralen;

F_r = brandpunt van de randstralen.

Alleen door combinatie van een positieve en een negatieve lens kan men de sferische aberratie grotendeels opheffen.

Een holle sferische spiegel vertoont altijd sferische aberratie. Als men echter het centrum meer uitholt dan de rand, kan men F_1 samen laten vallen met F_2. Zoals we in hoofdstuk 8 zagen.

Bij kleinere spiegels en een kleine openingsverhouding (f/10) is het niet nodig de spiegel te paraboliseren; de sferische aberratie is dan onmerkbaar.

De sferische aberratie van een bolle spiegel is tegengesteld aan die van een holle spiegel.

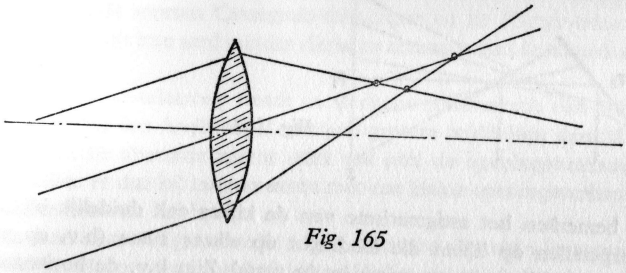


Fig. 165

Bij de Kutter-telescoop werken we met bundels, die vrij grote hoeken met de hoofdassen van hoofdspiegel en vangspiegel maken.
Hoe de sterk optredende coma en astigmatisme hier gecorrigeerd worden, heeft u in hoofdstuk 6 gelezen.
Zijn coma en sferische aberratie opgeheven dan noemt men het objectief '*aplanatisch*'.

Beeldwelving

Als astigmatisme en coma gecorrigeerd zijn, is het beeld wel scherp, maar niet vlak.
Als we het beeld op een matglas opvangen en het centrum scherp stellen, is de rand van het beeld onscherp, en omgekeerd.
Bij visuele waarnemingen hebben we hiervan weinig last, want door de accomodatie van het oog worden kleine verschillen in beeldafstand opgeheven.
Fotografische kijkers moeten ofwel voor beeldwelving gecorrigeerd worden, ofwel: men moet de gevoelige plaat dezelfde kromming geven als het beeldveld (zoals b.v. in de Schmidt-camera gebeurt).

Vertekening

Het beeld van een vierkant kan kussenvormig of tonvormig vertekend zijn.

Diafragmeren van het objectief helpt hier niets, wèl: beperken van het beeldveld door een oculairdiafragma.

Meestal is de vertekening te wijten aan het oculair. Vooral bij enkelvoudige oculairen treedt het sterk op.

Samenvatting van de monochromatische aberraties

Als de sferische aberratie van een stelsel is opgeheven, zal het centrum van het veld scherp worden afgebeeld, maar punten aan de rand van het centrum tonen reeds duidelijk coma.
Als dat stelsel ook voor coma is gecorrigeerd, blijken punten die iets verder van het centrum liggen ook nog te lijden aan astigmatisme.
Als ook dit opgeheven is, is het beeld wel scherp, maar zal gewelfd zijn.
Tenslotte: als het beeld vlak is en scherp, kan het nog vertekend zijn.

Chromatische aberratie

Als wit licht door een lens gaat, wordt het niet alleen gebroken, maar het wordt ook gesplitst in de kleuren van de regenboog.
Het witte licht is samengesteld uit alle kleuren van de regenboog en de blauw-violette stralen worden sterker gebroken dan de rode.
Een evenwijdige lichtbundel die van een ster komt (fig. 166) zal gebroken èn geschift worden, zodat op de as het dichtst bij de lens de blauw-violette stralen samenkomen en verder van de lens de rode.
De lens heeft dus voor violette stralen een kortere brandpuntsafstand dan voor rode.
Tussen R en V zullen beelden van de ster komen van de verschillende kleuren: oranje, geel, groen, blauw.
Als we een scherm in R houden, zullen we een wit vlekje met een blauwviolet randje zien.
Houden we het scherm in V, dan zien we een witte vlek met rode rand.
Een scherp beeld kan daardoor niet ontstaan. Midden tussen V en R is het beeld nog het beste.

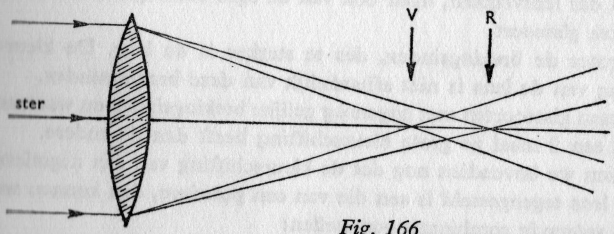


Fig. 166

De chromatische aberratie komt niet voor bij spiegels. Daar is immers geen sprake van breking, dus ook niet van kleurschifting.
Als we als kijker-objectief een enkele dubbelbolle lens gebruiken, is de invloed van de chromatische aberratie op de scherpte van het beeld onmerkbaar klein, als we er voor zorgen, dat de lens-diameter die we gebruiken niet groter is dan $1/6\ \sqrt{f}$ ($D \leqq 1/6\ \sqrt{f}$).
Met deze formule kan men de volgende bijeenbehorende maximumwaarden van D berekenen bij een gegeven f.

f	D	f	D
9 cm	0,5 cm	144 cm	2 cm
25 cm	0,8 cm	900 cm	5 cm
50 cm	1,2 cm	3600 cm	10 cm
100 cm	1,7 cm	8100 cm	15 cm

Wil men dus een kijker met een grote objectiefmiddellijn hebben, dan komt men al gauw tot onhandelbaar lange kijkers.
Bij 2-lenzige *oculairen* is het mogelijk de kleurschifting op te heffen met lenzen van dezelfde glassoort.
(Huygens-, Mittenzwey- en Ramsden-oculair)
Vanzelfsprekend kan men het scheidend vermogen van een kijker, die niet geheel achromatisch is, verbeteren, door een gekleurd filter voor het oculair te brengen.
Een opheffing der kleurschifting bij objectieven kan bereikt worden door het objectief uit 2 of meer lenzen van verschillende glassoorten samen te stellen.
Hoe dit gaat, zullen we hier in grote trekken beschrijven. Een gedetailleerde beschrijving (die overigens niet erg moeilijk is) heeft alleen maar zin voor wie zelf een achromatisch objectief wil berekenen en slijpen.
De brandpuntsafstand van een lens hangt niet alleen af van de krommingen der lensvlakken, maar ook van de zgn. brekingsindex van de gebruikte glassoort.
Hoe groter de brekingsindex, des te sterker is de lens. De kleurschifting van de lens is niet afhankelijk van deze brekingsindex.
Er bestaan glassoorten met nagenoeg gelijke brekingsindex en waarvan de een een 2 maal zo grote kleurschifting heeft dan de andere.
Bedenken we bovendien nog dat de kleurschifting van een negatieve (holle) lens tegengesteld is aan die van een positieve, dan kunnen we ons de volgende combinatie voorstellen:

Een sterke positieve lens met een bepaalde kleurschifting + een negatieve lens, gemaakt uit een glassoort waarvan de kleurschifting 2× zo groot is.
Deze negatieve lens behoeft dan niet zo sterk te zijn als de positieve lens om de kleurschifting daarvan op te heffen.
Ze behoeft in feite maar half zo sterk te zijn.
Hieruit volgt, dat deze combinatie toch nog werkt als één positieve lens van de halve sterkte, terwijl de kleurschifting opgeheven is.
Zo'n lenzen-combinatie noemt men *achromatisch.*
Nu is met twee lenzen van normale glassoorten de kleurschifting slechts voor 2 kleuren op te heffen.
Er blijft dus een geringe kleurfout over, die men secundair spectrum noemt.
Een nog betere correctie krijgt men door het objectief uit 3 lenzen samen te stellen.
Het secundaire spectrum kan dan opgeheven worden.
Zo'n stelsel noemt men *apochromatisch.*
Het maakt verschil of men de kijker visueel gebruikt of fotografisch.
Bij een kijker voor visueel gebruik zal men het objectief zó construeren, dat de brandpunten voor blauw en rood samenvallen en het geel-groen er heel dicht bij ligt.
Bij fotografische kijkers laat men blauw en violet samenvallen, omdat de fotografische plaat daar het gevoeligst voor is.
Voor het achromatisch zijn van een objectief is alleen een bepaalde verhouding van de brandpuntsafstanden van de negatieve en de positieve lens nodig. De krommingen kan men nog vrij kiezen. Men kiest deze altijd zó, dat ook de sferische aberratie opgeheven is.

1.	Wat heeft een hongerige maag nu aan astronomie?	5
2.	Het lied van de hemel	9
3.	Roman van de sterrekijker	35
4.	Wat verwacht u van een telescoop?	48
5.	Het slijpen en polijsten van telescoopspiegels	63
6.	Wij bouwen een Kutter-telescoop	84
7.	De montering	107
8.	Het testen en corrigeren van holle en bolle spiegels	119
9.	Op verkenning langs de sterrenhemel	143
10.	Wetenschappelijke waarnemingen	155
	Het waarnemen van meteoren	155
	Het waarnemen van veranderlijke sterren	169
	Het waarnemen van kunstmanen	179
	Het waarnemen van sterbedekkingen	194
11.	Oculairen, Barlow-lens, prisma's	207
12.	Het slijpen, polijsten en testen van vlakke spiegels	231
13.	Het slijpen en polijsten van kleine lensjes	241
14.	Aberraties of afbeeldingsfouten	245

Thieme's sterrenboek

Er zijn veel populaire boeken over astronomie geschreven. Het merendeel daarvan licht ons in over de wonderlijke bouw van het heelal en over de manier waarop de astronomen deze ontraadselden.

Dit *handboek voor amateur-astronomen* heeft een andere bedoeling. Het leert de amateur wat hij van zijn telescoop kan verwachten; het geeft gedetailleerde instructie over het slijpen en polijsten van telescoopspiegels en het bouwen van een telescoop. Het leert de amateur bovendien wat hij met zijn telescoop kan doen.

Behalve interessante sight-seeing aan het firmament worden ook de wetenschappelijke voorzieningen behandeld, die binnen het bereik van de amateur liggen.

De schrijver, *directeur van de eerste Nederlandse Volkssterrenwacht,* kènt de vragen, moeilijkheden en mogelijkheden van en voor de amateur, terwijl voor speciale waarnemingsterreinen deskundigen meewerkten. Zo is een uniek boek ontstaan, dat ook in andere taalgebieden geen voorbeeld heeft.

IN VOORBEREIDING:

THIEME'S
STERRENFOTOBOEK

met meer dan 200 astronomische foto's, gemaakt door amateurs.

(17 foto's in vierkleurendruk!)

W. Widmann

Welke ster is dat?

Voor Nederland bewerkt door
J. C. Alders.

Met 48 sterrenkaarten, een tabel tot het bepalen van de sterrenbeelden op elk tijdstip, 90 figuren, 8 platen en een maankaart.

7e druk, geb. f 4,50.

Dit boekje wil de beginnende amateur-waarnemer zonder geleerde termen inwijden in de geheimen van de sterrenhemel en hem met de belangrijkste sterrenbeelden van het noordelijk halfrond vertrouwd maken. Het maakt op eenvoudige wijze duidelijk, hoe hij de sterren, die hij aan de hemel ziet, kan identificeren.

Deze leidraad bevat daarom 48 sterrenkaarten van een hele bladzijde elk, zodat er 4 sterrenkaarten per maand zijn: een kaart van de sterrenbeelden van het noorden, 't oosten, 't zuiden en 't westen. Voor elke maand dus 4 sterrenkaarten, onderscheiden naar de 4 windstreken. Een prachtig werkje voor ieder, die door eigen waarneming wat meer van sterrenkunde weten wil.

THIEME'S STERRENBOEK